

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra robototechniky**

*Rekonstrukce pohonů servisního podvodního robotu*

*Reconstruction of the Drives of an Underwater  
Service Robot*

Student:

Roman Trávniček

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Roman Trávníček**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R013 Robotika

Téma:

**Rekonstrukce pohonů servisního podvodního robotu**  
**Reconstruction of the Drives of an Underwater Service Robot**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současné aplikace s podvodními monitorovacími roboty. Analyzujte možné typy pohonů, použitelných v konstrukci servisního podvodního robotu.
2. Navrhněte varianty řešení rekonstrukce pohonů podvodního servisního robotu.
3. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu.
4. Vybranou variantu zpracujte do formy technického řešení.
5. Vypracujte technickou zprávu a výslednou výpočtovou dokumentaci zpracované varianty. Součástí diplomové práce bude výkres sestavy.
6. Proveďte technicko-ekonomické zhodnocení rekonstruovaného pohonu, porovnáním se stávajícími pohony.

Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z www:  
<<http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>>

[2] KONEČNÝ, Z. Základy technické dokumentace. [online] Dostupné z www:  
<[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/technicka\\_dokumentace/titulni\\_strana.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/technicka_dokumentace/titulni_strana.htm)>

[3] KÁRNIK, L. Servisní roboty - Modely a analýza. [online] Dostupné z www:  
<[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/index.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm)>

[4] SKAŘUPA, J. Průmyslové roboty a manipulátory [online] Dostupné z www:  
<<http://robot2.vsb.cz/elekskripta/pram/index.html>>

[5] CIBIEN, M. Návrh mechatronického subsystému SR pro nasazení při živelních pohromách. Ostrava, 2007. Diplomová práce (Ing.). VŠB-TU-Ostrava, Fakulta strojní,

Katedra robototechniky.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

---

prof. Dr.Ing. Petr Novák  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
*děkan fakulty*

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....

Roman Trávníček

Emanuela Podgorného 90/6

700 30 Ostrava

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TRÁVNÍČEK, R. *Rekonstrukce pohonů servisního podvodního robotu : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robototechniky, 2010, 62 s. Vedoucí práce: KONEČNÝ, Z.

Bakalářská práce se zabývá návrhem nových pohonů pro již navržený podvodní robot. V úvodu jsou uvedeny aplikace podvodních monitorovacích robotů a pohonů, které se u těchto robotů vyskytují. Následně jsou navrženy tři varianty konstrukčního řešení pohon. Z navržených variant je na základě hodnotové analýzy vybrána optimální. Optimální varianta je podrobně zpracována. Funkčnost konstrukčního řešení je ověřena kontrolními výpočty. K navrženému pohonu je vytvořen 3D-model a výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace je v příloze bakalářské práce.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

TRÁVNÍČEK, J. *Reconstruction of the Drives of an Underwater Service Robot: Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010, 62 p. Thesis head: KONEČNÝ, Z.

The bachelor thesis deals with new drives for underwater robot has already proposed. In the introduction to the applications listed underwater robot monitoring and drives that occur at these robots. Then suggest three alternative design solutions driven. The proposed options are based on selected best value analysis. The optimal variant is elaborated. Functionality of the design solution is verified by control calculations. To proposed drive is created a 3D model and drawings. Drawings is in the enclosure of the bachelor thesis.

# Obsah

Použité značky.....	9
Použité zkratky.....	11
1 Úvod.....	12
2 Analýza současných aplikací s podvodními monitorovacími roboty .....	13
2.1 Rozdělení podvodních monitorovacích robotů.....	13
2.2 ROV .....	14
2.3 AUV.....	17
3 Analýza možných typů pohonu použitelných v konstrukci servisního podvodního robotu .....	19
3.1 příklady pohonů podvodních servisních robotů.....	19
4 Volba motoru a převodovky.....	21
4.1 Popis motoru a převodovky .....	21
4.2 Navržené motory a převodovky.....	22
4.3 Výběr .....	25
5 Požadavkový list .....	26
6 Shrnutí stávajícího konstrukčního řešení .....	27
7 Návrh variant nového konstrukčního řešení .....	29
7.1 Varianta 1.....	29
7.2 Varianta 2.....	31
7.3 Varianta 3.....	32
8 Výběr optimální varianty .....	33
9 Zvoleného konstrukčního řešení .....	37
9.1 Výhody vybrané varianty.....	37
9.2 Model vybrané varianty .....	37
10 Návrh komponent pohonu.....	38
10.1 Komponenty k zakoupení .....	38
10.2 Navržené komponenty .....	41
10.3 Komponenty k vytvoření spojů,kroužky,pera.....	45
11 Konstrukce pohonu .....	46
11. 1 Řez pohonem .....	46
11.2 Montážní postup .....	48
12 Kontrolní výpočty .....	52
12.1 Kontrola vrtule.....	52
12.2 Kontrola ložiska.....	55
12.3 Kontrola pera na otlačení.....	56

12.4	Výpočet maximálního povoleného zrychlení při rozběhu motoru a čas potřebný pro dosažení pracovních otáček .....	56
13	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	57
14	Závěr .....	58
	Použitá literatura .....	59
	Seznam příloh.....	61
	Poděkování.....	62



## Použité značky

Symbol		Jednotka
$C$	Základní dynamická únosnost ložiska	[N]
$C_0$	Statická únosnost	[N]
$C_x$	Součinitel odporu	[-]
$C_y$	Součinitel odporu	[-]
$D_k$	Obvodový průměr lopatek	[mm]
$D_n$	Průměr náboje	[mm]
$F_{\text{tah}}$	Síla tahu lopatek	[N]
$F_a$	Axiální zatížení	[N]
$F_e$	Ekvivalentní dynamické zatížení	[N]
$F_r$	Radiální zatížení	[N]
$H$	Geometrie stoupání vrtule	[m]
$J$	Moment setrvačnosti	[Nm <sup>2</sup> ]
$M_a$	Dynamický moment	[Nm]
$M_k$	Moment krutu	[Nm]
$M_{\text{kvýst}}$	Výstupní moment z převodovky	[Nm]
$M_{\text{max}}$	Maximální moment převodovky	[Nm]
$P_1$	Síla vytvářející moment na jedné lopatce	[N]
$R_1$	Celkový odpor ploch	[N]
$R_{1x}$	Odpor ploch ve směru x	[N]
$R_{1y}$	Odpor ploch ve směru y	[N]
$R_{1z}$	Odpor ploch ve směru z	[N]
$S_x$	Ekvivalentní plocha	[m <sup>2</sup> ]
$S_y$	Průmět plochy lopatky	[m <sup>2</sup> ]
$T_1$	Síla vytvářející tah na jedné lopatce	[N]

Symbol		Jednotka
b	Šířka	[mm]
d	Průměr	[mm]
h	Výška	[ mm]
$k_d$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$l_l$	Délka	[mm]
$l_s$	Délka pera	[mm]
n	Otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
p	Tlak , napětí	[Pa]
$p_{Dt}$	Dovolené napětí	[Pa]
r	Poloměr	[mm]
t	Tloušťka lopatky	[mm]
$t_{min}$	Minimální čas	[s]
u	Obvodová rychlost	[ms <sup>-1</sup> ]
w	Výsledná rychlost	[ms <sup>-1</sup> ]
z	Počet lopatek	[-]
$\alpha$	Úhel skluzu	[ °]
$\beta$	Úhel rychlosti	[ °]
$\varepsilon$	Obvodové zrychlení	[rad·s <sup>-2</sup> ]
$\varepsilon_{max}$	Maximální obvodové zrychlení	[rad·s <sup>-2</sup> ]
$\xi$	Úhel odporových sil	[ °]
$\rho$	Hustota	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\varphi$	Úhel nastavení lopatky	[ °]
$\psi$	Výsledný úhel	[ °]
$\omega$	Úhlová rychlost	[rad·s <sup>-1</sup> ]

## Použité zkratky

3D	Z angl. <i>3.dimension</i>	Třetí rozměr
AUV	Z angl. <i>autonomous underwater vehicle</i>	Označení autonomních podvodních robotů
AW	Z angl. <i>antiwear</i>	Protiotěrová aditiva
CO.	Z angl. <i>company</i>	Společnost
ČSN	Označení normy	Česká státní norma
DC	Z angl. <i>direct current</i>	Označení stejnosměrného proudu
DVD	Z angl. <i>Digital Versatile Disc</i>	Formát digitálního optického nosiče
EN	Označení normy	Evropská norma
GPS	Z angl. <i>Global Positioning System</i>	Družicový navigační systém
PA 6	Označení materiálu	Silon-Polyamid
PC	Označení materiálu	Polykarbonát
Pro/E	Pro/Engineer	3D modelační a simulační software
ROV	Z angl. <i>remotely operated underwater vehicle</i>	Označení neautonomních podvodních robotů
SR	Zkratka	Servisní robot
UUV	Z angl. <i>unmanned underwater vehicle</i>	Označení autonomních podvodních robotů
WF4.0	Wildfire 4.0	Verze programu Pro/Engineer
ZZ	Zkratka	Oboustrané krytí ložiska

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí pohonů podvodního robotu. Pohony byly navrženy jako součást podvodního monitorovacího robotu v roce 2007 v diplomové práci Ing. Michalem Cibienem pod vedením Ing. Jana Burkoviče Ph.D na katedře Robototechniky Vysoké školy Báňské - Technické univerzity v Ostravě.

U navržených pohonů byly ze strany tehdejšího vedoucího i oponenta práce vytknuty určité nedostatky. Většinou se jedná o nedostatky konstrukčního charakteru.

Jedním z vytýkaných problémů je navržení gufera určeného k utěsnění motoru. Navržené gufero je sice speciální se zvýšenou odolností na tlak, ale těsnění není nijak pojištěno pro případ havárie či případných výrobních nepřesností.

Dalším nedostatkem je užití jednořadého kuličkového ložiska na hřídeli která spojuje převodovku s lodním šroubem. Toto ložisko je nevyhovující především tím, že je pouze radiální. Lodní šroub je však zatěžován odporovými silami jak radiálními tak axiálními, to by se mohlo projevit na převodovce, která by tím byla značně namáhána a tím by se snížila její životnost.

Jako další konstrukční nedostatek je řešení přívodu kabeláže ze SR do pohonu. To je řešeno pouze za pomoci otvoru, do kterého je vsazena těsnící průchodka. V případě havárie, kdy by byl kabel přerušen a bylo by za potřebí jeho znovu zapojení by se musel celý pohon demontovat.

Určitým nedostatkem je i návrh motoru a převodovky. Ty byly zvoleny tak, že jsou vyhovující z hlediska konstrukce, ale jejich pořizovací cena je poněkud vysoká.

## **2 Analýza současných aplikací s podvodními monitorovacími roboty**

### **2.1 Rozdělení podvodních monitorovacích robotů**

Obecně lze říci, že podvodní monitorovací roboty nahrazují práci potápěčů. Nahrazují ji tam, kde by byla práce potápěče obtížná, nebezpečná nebo nemožná. Tyto situace bývají zapříčiněny několika faktory, jako je vysoký tlak, snížená nebo nulová viditelnost. Při práci v moři jsou to přílivové a odlivové vlny a proudy a také je zde riziko spojené s živočichy žijícími pod vodní hladinou. Monitorovací roboty bývají nejčastěji využívány k průzkumům archeologickým, biologickým, geologickým, ale mohou být využívány k různým inspekčním činnostem jako je monitorování stěn podvodních hrází, kontrola konstrukcí podvodních staveb, mapování podmořského terénu. Velice často se užívá podvodních inspekčních robotů ke kontrole podpěr ropných plošin umístěných na moři. Podle toho pro jakou situaci a pro jaké podmínky je robot určen se volí jeho konstrukce a samotný typ (druh).

U rozdělení podvodních robotů na podskupiny rozhoduje to zda je daný robot autonomní. Autonomní bývají takové podvodní roboty, které mají vlastní řídicí systém a velmi často i určitý stupeň umělé inteligence. Takovéto roboty mívají naprogramovanu vlastní misi (úkol) a ten plní nezávisle na nějakém řídicím středisku. Samozřejmě, že v případě nutného zásahu nebo změny, může být robot dálkově řízen nebo přeprogramován. Pak jsou zde roboty neautonomní, které jsou v podstatě dálkově řízenými ponorkami a většinou, jsou spojeny kabelem s řídicím stanovištěm. U všech druhů podvodních robotů je velice důležitá sensorika. Roboty bývají vybaveny nejrůznějšími druhy kamer jako jsou např. klasické optické a digitální kamery, termo-kamery, infrakamery aj. Dále jsou roboty vybaveny mnoha druhy senzorů jako např. ultrazvukovými senzory, sonary, dotekovými senzory aj. Obecně uznávané rozdělení podvodních robotů je do dvou skupin: ROV (remotely operated underwater vehicle) a AUV (autonomous underwater vehicle). Roboty AUV bývají také někdy označovány jako UUV (unmanned underwater vehicle).

## 2.2 ROV

ROV (remotely operated underwater vehicle) jsou inspekční podvodní roboty, které lze označit jako neautonomní. Tyto roboty bývají řízeny operátorem z řídicího střediska. Takovéto středisko může být podle potřeby umístěno na pevnině nebo je součástí mateřské lodi. Typické pro takovéto roboty bývá kabeláž, která je spojuje právě s řídicím střediskem. Díky navíjecímu systému dané kabeláže je kontrolována hloubka ponoru robotu. V této kabeláži bývá obsažen kabel dodávající energii, kabel který nese samotné informace řízení a informace poskytnuté senzory robotu. Kabel je také vybaven nosným lanem, pomocí kterého je robot vytáhnut ven z vody. ROV jsou vyráběny v různých velikostech, ty se pohybují v řádech centimetrů až po metry. ROV lze kromě velikosti rozdělit podle operační hloubky, výkonu či druhu motorů, které jsou použity k pohánění robotů jak je uvedeno v tab.2.2.

Třída	Použití	Výkon (kW)
LCROV (elektrické motory)	Pozorování (<100 m)	< 4
Malé ROV (elektrické motory)	Pozorování (<300 m)	< 7,5
Středně velké ROV (elektrické motory)	Pozorování / lehké práce (<3000 m)	< 15
Deep ROV (elektrické motory)	Pozorování / sběr dat (>3000 m)	< 20
Middle - Deep ROV (ele./hyd. motory)	Lehké / středně těžké práce (<2000 m)	< 75
Velké ROV (ele./hyd. motory)	Těžké práce / těžký náklad (<3000 m)	< 225
Ultra - Deep ROV (ele./hyd. motory)	Těžké práce / těžký náklad (>3000 m)	< 90

Tab.2.2 - Rozdělení ROV

### 2.2.1 Příklady ROV

#### Woods Hole

Woods Hole Science Center je dálkově ovládaný podvodní robot (ROV). Primárně slouží k monitorování mořského dna, ale díky malému efektoru může být použit např. k odběru vzorků půdy. Jedná se o malý, lehký přístroj, 99 cm dlouhý 46 cm široký a vysoký, vážící asi 30 kg. Díky těmto malým rozměrům je snadné jej umístit i na menších lodích. Woods Hole je řízen signály, které jsou poslané přes pupeční šňůru. ROV je vybaven raketami pro určování polohy, video kamerami pro snímání a světlomety pro jasnější obraz. Kloubové rameno s efektorom umožňuje sbírat malé vzorky. Real-time video monitor na palubě mateřské lodi poskytuje vizuální zpětnou vazbu pro řízení systému, zobrazení terénu, překážek a jiné podrobnější informace. Všechna data jsou zpracovávána na povrchu systémů a uloženy na DVD. Na obr.2.2.1.1 je zobrazeno dálkově řízené ROV, s jednotku určení polohy a pupeční šňůrou, která je namotána na mobilním navijáku. Malá krabička je ovládáním řídicí jednotky pro ROV.



Obr.2.2.1.1 - Woods Hole - ROV

#### VideoRay

Jedná se o celou řadu podvodních monitorovacích robotů, které lze označit jako Mini-ROV. Tyto roboty jsou vyráběny americkou společností VideoRay, která se zaměřila právě na výrobu miniaturních podvodních monitorovacích robotů ROV. Roboty této společnosti jsou určeny do hloubek od 50m - 300 m. Podle ceny a typu robotu jsou vybaveny nejrozličnějšími druhy kamer a světlometů. K výbavě robotu patří servisní kufřík, který je vybaven počítačem pro řízení robotu a zobrazovací obrazovkou.

Na obr.2.2.1.2 je zobrazen VideoRay EXPLORER, který je navrhnut do hloubky 250 stop (cca 76 m). Váží 43 kg a je navrhnut tak, aby se i s veškerým příslušenstvím vlezl do kufru automobilu.



*Obr.2.2.1.2 - VideoRay Explorer - ROV*

Další robot firmy VideoRay (obr.2.2.1.3) je model Pro 4 PS300XL. Tento model byl speciálně zkonstruován pro kontrolu přístavů. Je využíván k rychlé a efektivní kontrole hrází, mol a jiných vodních staveb. Kromě kamer je také vybaven sonarem. Výhodou tohoto robotu jsou minimalizované požadavky na energii. To bylo navrženo, aby byla zachována mobilita robotu s příslušenstvím. Robot Pro 4 PS300XL je určen k práci do 300m pod vodní hladinou.



*Obr.2.2.1. 3 - VideoRay Pro 4 PS300XL - ROV*



## 2.3 AUV

AUV (autonomous underwater vehicle) jsou inspekční podvodní roboty, které lze charakterizovat jako autonomní. Takovéto roboty bývají předem naprogramovány k určité misi. Úspěšně se jich využívá ve velkých hloubkách nebo špatně dostupných podvodních prostorech. Tyto roboty na rozdíl od ROV bývají vybaveny vyspělou výpočetní technikou, která jim napomáhá v plnění mise (úkolu). Od toho se i odvíjí určitý stupeň umělé inteligence, kterým bývají často vybaveny. Konstrukce těchto robotů mohou být různé, ale nejčastěji lze vidět AUV roboty ve tvaru obdobném torpédu. Jako zajímavost lze říci, že i samonaváděcí torpéda užívaná námořnictvem lze zařadit do skupiny AUV. AUV mohou být také propojeny kabeláží s řídicím střediskem avšak tato kabeláž většinou obsahuje pouze nosný kabel pro pohodlné vytažení robotu z vody. Díky speciálním pohonům a zdrojům energie bývají AUV roboty vysílány i na několika měsíční mise, které se většinou týkají ekologického, geologického nebo geografického výzkumu.

### 2.3.1 *Příklady AUV*

#### **EXPLORER 5000**

Je podvodní průzkumný robot AUV od kanadské společnosti International Submarine Engineering (ISE). EXPLORER 5000 má hmotnost 1250 kg, 5,5m a průměr 0,74 m. Jeho konstrukce je navržena pro monitorování ve hloubce, která dosahuje až 5000m. Je vybaven vysoce přesnými senzory v kombinaci s navigační jednotkou. Dále je vybaven multi -paprsky pro scan dna a přesnými sonary doplněnými o ultrazvukové snímače. Robot má vlastní řídicí počítač, který je vybaven řídicím programem. S ohledem na veškeré senzory má EXPLORER 5000 výdrž v provozu téměř 22 hodin a 120 km dosah. Rychlost robotu je 3 uzly ( $1,543 \text{ ms}^{-1}$ ). Napájen je za pomoci 15,6 kWh Lithium-Ion baterií. Na obr. obr.2.3.1.1 je zobrazeno vytažení EXPLORERu 5000 z vody. To je prováděno pomocí jeřábu umístěného na lodi.



*Obr.2.3.1.1 - EXPLORER 5000 - AUV*

### **Stingray**

Stingray (obr.2.3.1.2) je autonomní podvodní robot AUV. Robot v současné době dělá všechny své monitorovací práce založené na zobrazení a detekce objektů. Robot je vybaven podvodní GPS technikou. Robot je navržen pro monitorování zaměřeného na biologii mořských vod. Úloha Stingray je samostatný monitoring se shromažďováním výsledných dat ze senzorů. Data jsou později stahována do počítače. Stahování může být denní, týdenní, měsíční podle potřeby poskytovat více pravidelné data pro analýzu.



*Obr.2.3.1.2 - Stingray - AUV*

### 3                    **Analýza možných typů pohonu použitelných v konstrukci servisního podvodního robotu**

Pohony používané u servisních podvodních robotů jsou nejčastěji založeny na principu rotačního motoru a lodního šroubu. V ojedinělých případech jsou užity proudové pohony nebo jiné alternativní řešení. Podle toho pro jaký SR příp. jakou činnost a do jaké hloubky budou pohony použity se volí jejich konstrukce. Důležité je u volby pohonu samotná konstrukce robotu. To ovlivňuje nejen typ pohonu, ale také jeho potřebný výkon. Při volbě pohonu je nutno znát, zda robot bude pouze monitorovat či bude použit k manipulaci s těžkými břemeny pod vodní hladinou. Konstrukci a návrh pohonu také ovlivňuje fakt, zda bude pohon umístěn v těle robotu nebo bude k robotu přichycen z venčí. Obecně lze pohony podvodních robotů rozdělit podle motorů, které jsou u nich použity na elektrické, hydraulické a hydro-elektrické.

#### 3.1                **příklady pohonů podvodních servisních robotu**

##### 3.1.1    *Elektrické*

Elektrické pohony se používají u podvodních robotů menších konstrukcí nebo u podvodních robotů, které jsou určeny k monitorování. Elektrické pohony jsou užity u robotů AUV i ROV, avšak u robotů ROV jsou použity nejčastěji, jelikož díky přívodní kabeláži nemají problém s přívodem elektrické energie.

Elektrických pohonů využívají všechny roboty firmy. Na obr.3.1.1.1 je zobrazen robot typu a detail jeho pohonu. Ten využívá krom, rotačního elektrického motoru také lodního šroubu. Tento pohon je součástí těla robotu.



*Obr.3.1.1 - Elektrický pohon robotu VideoRay*

### 3.1.2 *Hydro-elektrické*

Hydro-elektrické pohony jsou zpravidla užívány u podvodních robotů AUV, které jsou určeny pro práci ve velkých podmořských hloubkách ( $>1000$  m). Nebo u SR určených pro těžké práce či k manipulaci s těžkými břemeny.

Typickým příkladem využití Hydro-elektrického pohonu je robot SOLO-TREC (zkratka ze Sounding Oceanographic Lagrangian Observer Thermal RECharging) tento průzkumný podvodní robot typu AUV byl navrhnut a zkonstruován americkou organizací NASA, americkým námořnictvem a Kalifornskou univerzitou v San Diegu. Předností tohoto SR je skutečnost, že jeho monitorování oceánu nemusí přerušovat žádné externí dobíjení baterií či doplňování paliva. 84 kilogramů těžký robot v sobě ukrývá 10 trubic vyplněných voskovitou látkou, která mění svůj objem v závislosti na teplotě. Pokud robot pluje v teplé vodě povrchových vrstev oceánu, materiál začne mírně tát a roztáhne se. Jakmile se robot potopí do chladných hloubek, hmota ztuhne a její objem se zmenší.

Expanze voskovité hmoty stlačuje olej uvnitř plováku a pohání tak hydraulický motor, který vyrábí elektřinu a dobíjí robotovy baterie. Energie z baterií pak pohání hydraulický systém, který mění objem plováku a tím i vznášivost robota. SOLO-TREC zatím provedl 300 ponorů do hloubky 500 metrů. Při jednom ponoru jeho termální pohonný systém vyrobil kolem 1,7 watthodiny, což je dost na pohon elektronických senzorů, GPS a komunikačních zařízení. Na obr.3.1.2.1 je zobrazeno vytažení SOLO-TRECu z vody.



Obr.3.1.2 - SOLO-TREC

## 4 Volba motoru a převodovky

### 4.1 Popis motoru a převodovky

Při volbě motoru a převodovky byla vyvozena snaha o zachování parametrů původního řešení. Důvodů k tomu bylo několik a většinou jsou shodné s těmi, které jsou popsány v kapitole 7. Enkodér, který byl v původním řešení použit k řízení otáček motoru byl po odborných konzultacích z nového návrhu vypuštěn. Jelikož je přesnost řízení pod vodou značně omezena jeví se enkodér jako přebytečný. K řízení otáček bude použito regulace napětí pomocí řídicí jednotky EPOS, která je součástí SR. Vyřazením enkodéru se značně snižují náklady potřebné k výrobě pohonu.

Byly navrženy rozdílné DC motory s planetovými převodovkami. Z návrhu nebylo vyřazeno původní řešení od firmy Maxon, jelikož motor i převodovka splňují požadavky kladené na pohon. Konečný výběr motoru a převodovky je zcela závislý na pořizovací ceně, která by měla být co nejmenší, ale je důležité, aby byly splněny určité požadavky na pohon. Pro vyhledání a následný výběr motoru a převodovky byly sepsány následující požadavky.

#### 4.1.1 Požadavky na motor

Typ	DC Servomotor
Napětí	24 V
Výkon	cca 20 W
Rozměry	do ø50 x 100
Hmotnost	Do 0,5 kg

Tab.4.1.1 - Požadavky na motor

#### 4.1.2 Požadavky na převodovku

Typ	Planetová převodovka
Výstupní otáčky	300 - 340 min <sup>-1</sup>
Výstupní moment	0,4 - 0,5 Nm
Rozměry	do ø50 x 60
Hmotnost	Do 0,2 kg

Tab.4.1.2 - Požadavky na převodovku



#### 4.2.2 *Faulhaber*

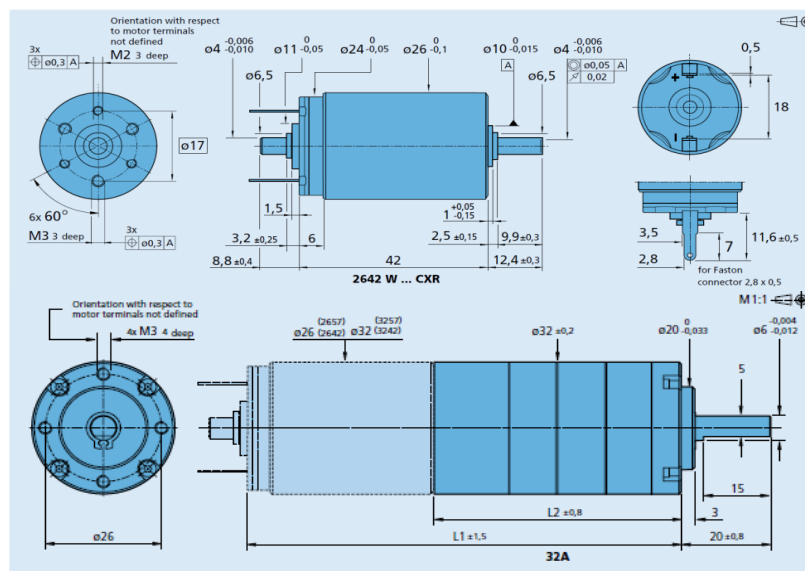
Navržený motor i převodovka pocházejí od německého výrobce a dodávají se zvlášť.

Označení motoru 2642W - CRX

Označení převodovky 32A-P

Pracovní napětí	V (DC)	24
Výkon	W	23
Pracovní otáčky	min <sup>-1</sup>	335
Pracovní moment	Nm	0,48
Délka převodovky	mm	60
Délka motoru	mm	42
Průměr převodovky	mm	26
Průměr motoru	mm	26
Hmotnost celku	kg	0,44
Cena celku vč. doručení (4 ks.)		850 € cca 22 000 Kč

Tab.4.2.2 - Vlastnosti motoru 2642W-CRX a převodovky 32 A-P



Obr.4.2. 2 - Schéma motoru a převodovky od firmy Faulhaber





#### 4.2.4

#### Wenzhou Zhengke Electromotors

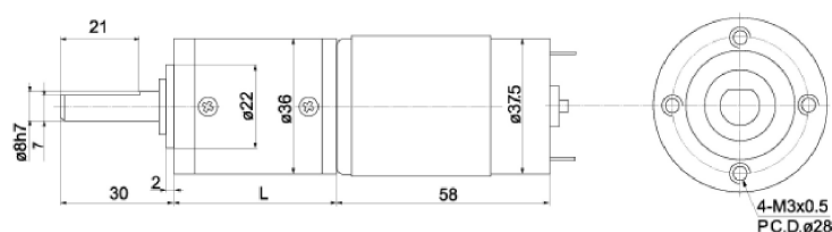
Zvolený motor pochází od čínského výrobce a je dodáván v boxu s planetovou převodovkou.

Označení motoru s převodovkou

ZGX36RH-2460-14

Pracovní napětí	<b>V (DC)</b>	<b>24</b>
Výkon	<b>W</b>	<b>20</b>
Pracovní otáčky	<b>min<sup>-1</sup></b>	<b>325</b>
Pracovní moment	<b>Nm</b>	<b>0,426</b>
Délka převodovky	<b>mm</b>	<b>37</b>
Délka motoru	<b>mm</b>	<b>58</b>
Průměr převodovky	<b>mm</b>	<b>36</b>
Průměr motoru	<b>mm</b>	<b>37,5</b>
Hmotnost celku	<b>kg</b>	<b>0,54</b>
<b>Cena celku vč. doručení (4 ks.)</b>		<b>160 \$</b> <b>cca 3 200 Kč</b>

Tab.4.2.4 - Vlastnosti motoru s převodovkou ZGX36RH-2460-14



Obr.4.2.4 - Schéma motoru s převodovkou od firmy Wenzhou Zhengke Electromotors

### 4.3 Výběr

Všechny navržené motory splňují požadované parametry. Každý z výrobců poskytuje jiné záruky a kvalitu. Výrobci byli seřazeni sestupně podle důvěryhodnosti a pravděpodobné kvality od nejvyšší k nejnižší. Na základě všech parametrů a skutečností byl vybrán poslední navržený motor, jelikož jeho cena je zhruba desetinou ceny zbylých třech výrobců.

## 5 Požadavkový list

Seznam požadavků je výsledkem shrnutí samotného zadání a požadavků na zadaný podvodní monitorovací robot. Pohon musí splňovat stejně tak základní požadavky, které jsou kladeny na robot jako specifické požadavky, které se týkají pouze pohonu samotného:

Požadavky převzaté z požadavků na SR:

- Pracovní hloubka - 50m
- Rychlost pohybu -  $0,6 \text{ ms}^{-1}$
- Charakter vodního prostředí:
  - Sladkovodní nádrž
  - Minimální proudění vody
  - Minimální znečištění

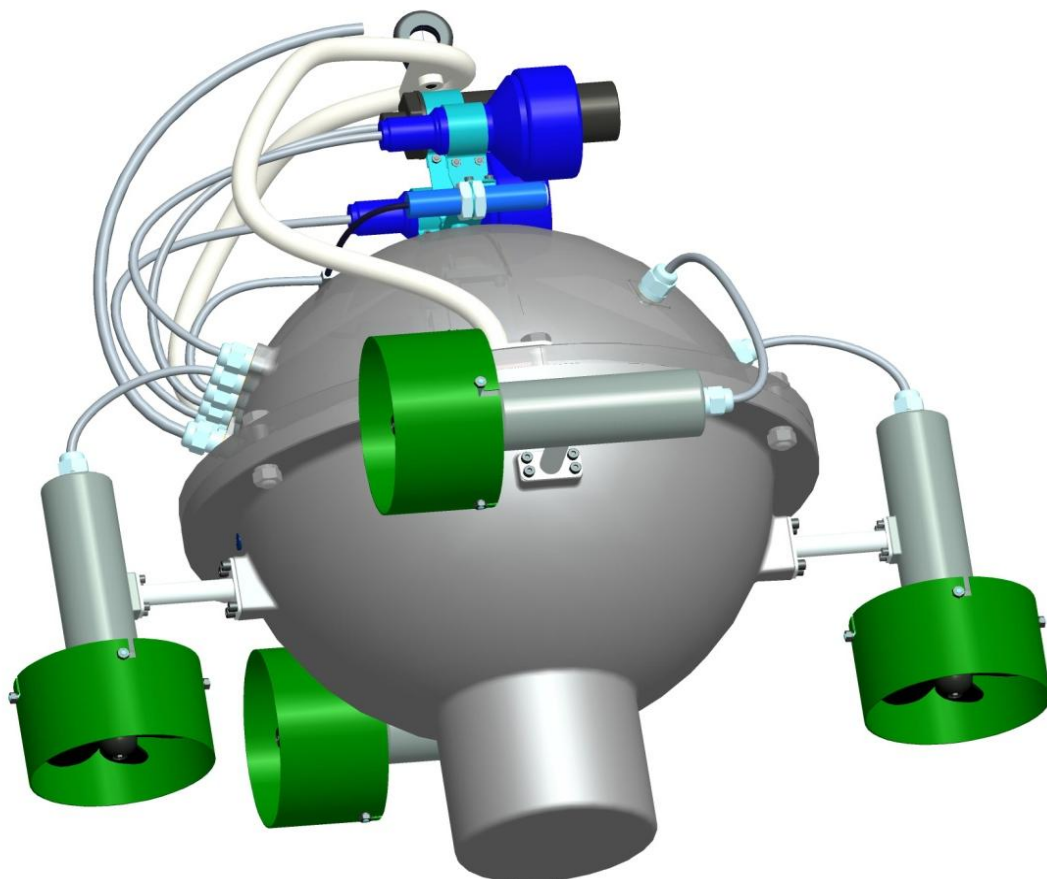
Konkrétní požadavky na pohon:

- Kompaktní provedení
- Dostatečné těsnění
- Použití elektrického motoru
- Kompatibilita motoru s řídicími jednotkami v robotu
- Připojení na kabel vedoucí ze SR
- Příchycení pohonu k SR
- Kompatibilita se stávajícím SR
- Zachování vlastností stávajícího SR

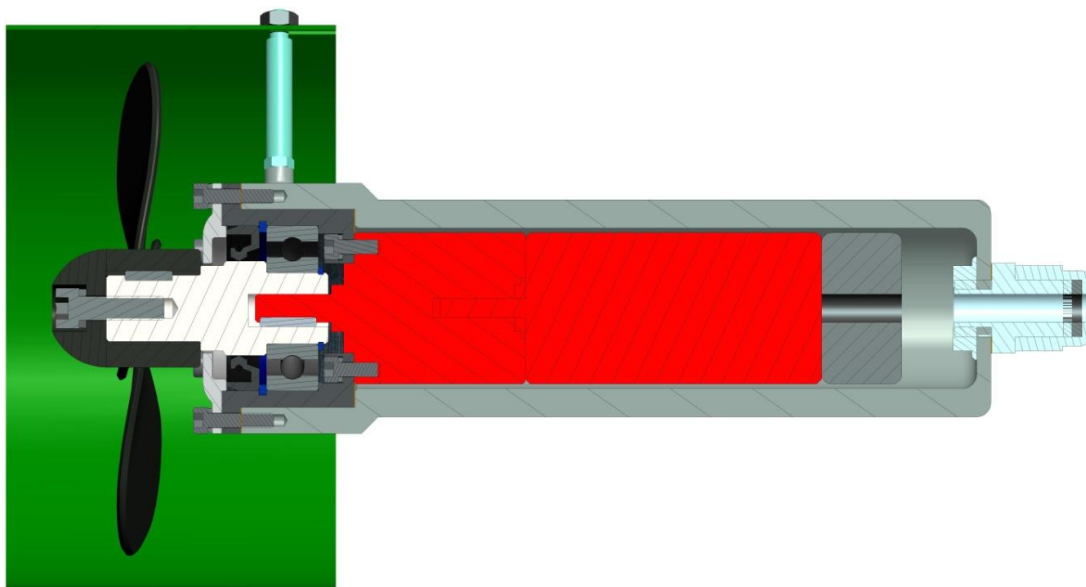
## 6 Shrnutí stávajícího konstrukčního řešení

Stávající pohony jsou součástí podvodního robotu typu ROV (Obr.6.1). Robot je navrhnut pro monitorování přístavních hrází do hloubky 50m. Se servisním střediskem je spojen pomocí kabeláže. Ta slouží i k vytažení robotu.

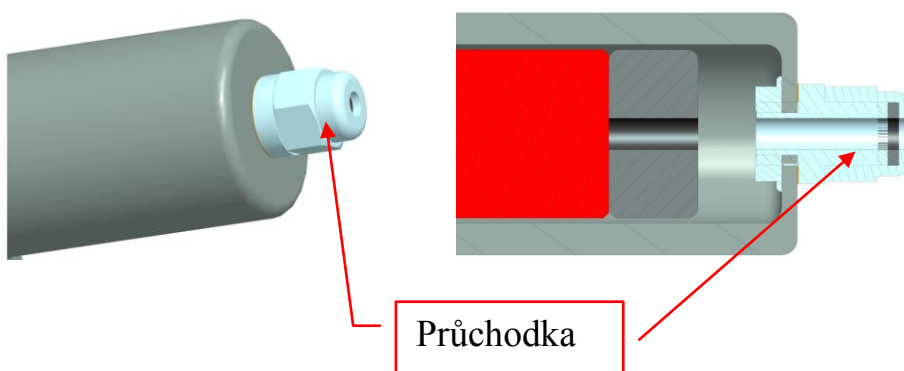
Robot je vybaven čtyřmi stejnými pohony, které jsou konstruovány na principu rotačního DC motoru, planetové převodovky a lodního šroubu. Pohony jsou na SR připojeny pomocí konzol a spojeny pomocí kabelu, který obsahuje vedení energií a řídicího signálu. Pohony jsou řízeny pomocí enkodéru, který je nasazen na motoru a propojen s řídicí jednotkou umístěnou v těle SR. Navržené pohony mají několik nedostatků ty jsou zmíněny (viz též kapitola 1).



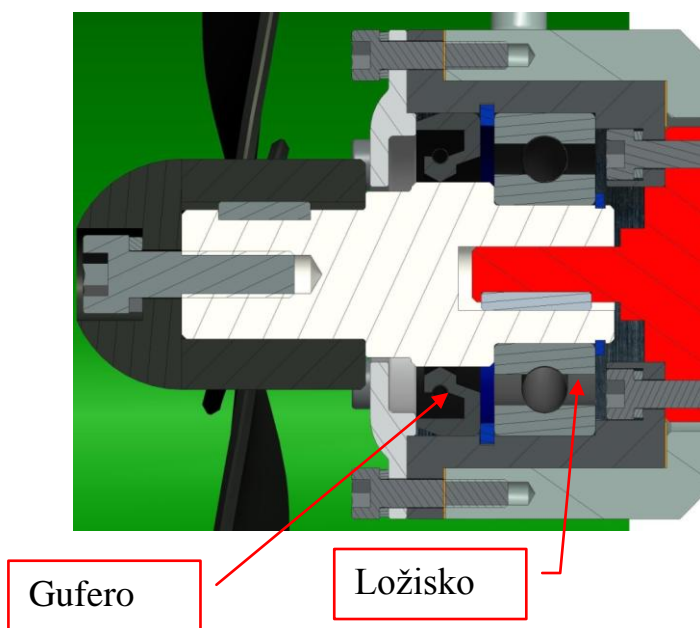
*Obr.6.1 - Servisní robot typu ROV navržený Ing. Cibienem - 3D-model Pro/E*



Obr.6. 2 - Řez původně navrženým pohonem - 3D-model Pro/E



Obr.6.3 - Ukázka původně navrženého připojení kabeláže pomocí průchodky - 3D-model Pro/E



Obr.6.4 - Řez původně navrženým pohonem - detail na osazenou hřídel - 3D-model Pro/E

## 7 Návrh variant nového konstrukčního řešení

Nové konstrukční řešení by mělo vyřešit tyto konstrukční uzly:

- připojení napájecí a řídicí kabeláže, tak aby nemusel být pohon v případě havárie celý demontován
- navrhnout oproti stávajícímu řešení lepší variantu ložiska umístěného na hřídeli, tak aby bylo sníženo zatížení působící na převodovku
- vyřešit oproti stávajícímu řešení lepší způsob těsnění motoru
- Navrhnout levnějšího motor a převodovku

Při návrhu pohonu byla snaha o co největší zachování původního principu a původních rozměrů. Tento postup byl účelný, jelikož jakákoli radikální změna principu pohonu či jeho rozměrů by mohla ovlivnit celkovou konstrukci navrženého servisního robotu.

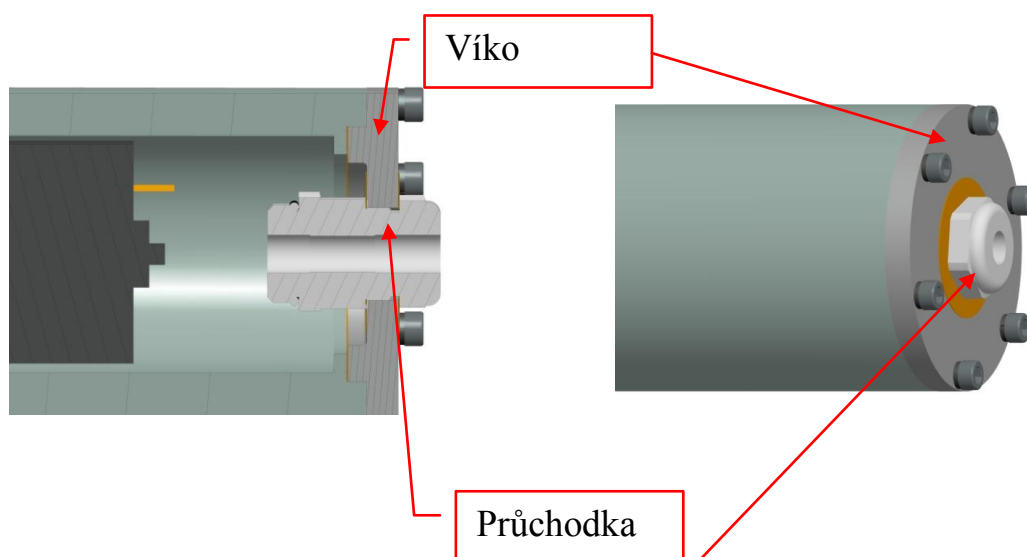
### 7.1 Varianta 1

K utěsnění zadní části, kde se připojuje kabeláž je navrženo víko, které je doplněno dvěma těsníci kroužky a zajištěno pomocí šesti šroubů. Šrouby jsou doplněny pružnými podložkami. K připojení a utěsnění kabeláže je použita tzv. průchodka. Podobná průchodka byla použita již v původním konceptu daného robotu.

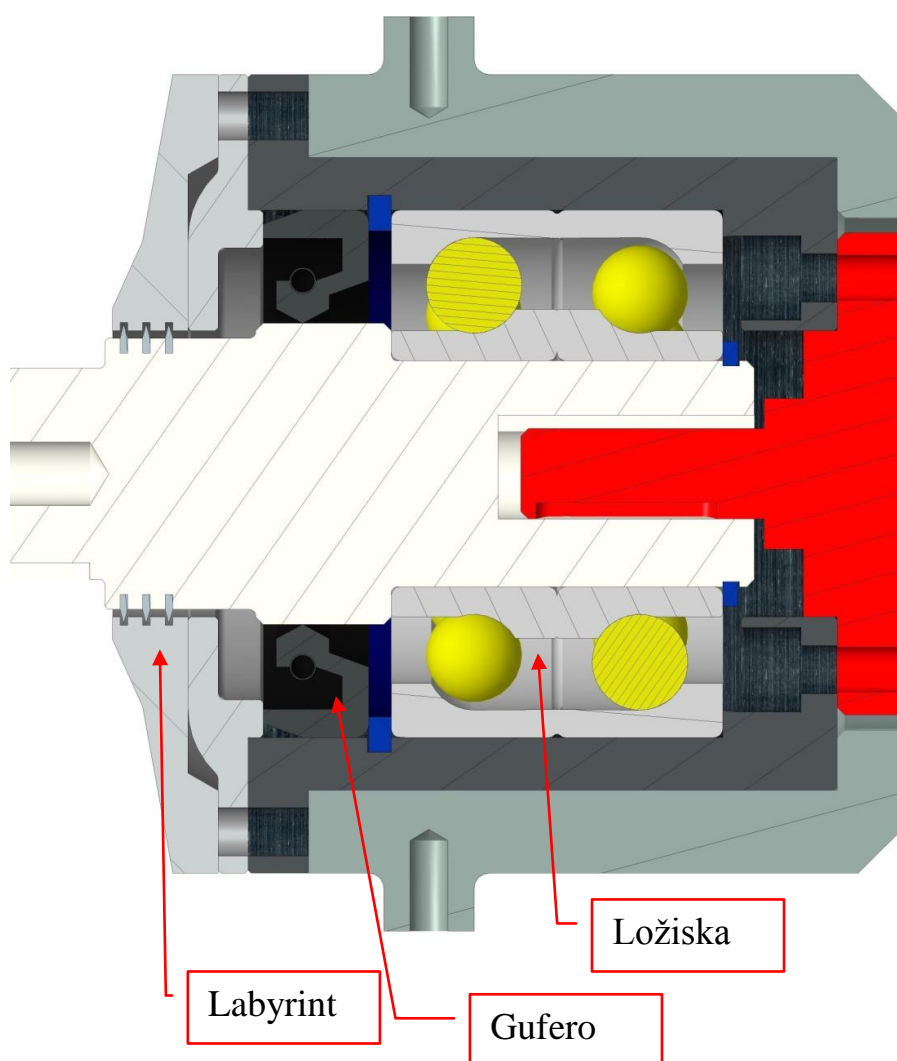
Původní jednořadé kuličkové ložisko bylo nahrazeno dvěma ložisky, která jsou s kosoúhlým stykem. U těchto ložisek je valivým elementem také kulička. Výhodou tohoto řešení je, že dvě takto uložená ložiska (proti sobě) na rozdíl oproti původnímu řešení jsou schopna přenášet síly jak axiální tak radiální. To je zde důležité, jelikož vrtule je pod vodou zatížená silami ve všech směrech a navíc musí odolávat různým rázům, které mohou být vyvolány např. kavitací.

Těsnění, které brání vstupu kapaliny do těla pohonu je řešeno pomocí atypického labyrintového těsnění umístěného na začátku hřídele. Toto těsnění je složeno ze dvou ocelových částí a tří prizmatických kroužků. Labyrintové těsnění zde má funkci snížit tlak působící na gufero, které je umístěno mezi ním a ložiskem.

Původní motor a převodovka od společnosti Maxon byly nahrazeny alternativními výrobky od firmy Wenzhou Zhengke Electromotors (viz též kapitola 4).



*Obr.7.1. 1 - Nově navržené víko s průchodkou - 3D-model Pro/E*



*Obr.7.1. 2 - Varianta 1 - Detail osazené hřídele - Řez - 3D-model Pro/E*

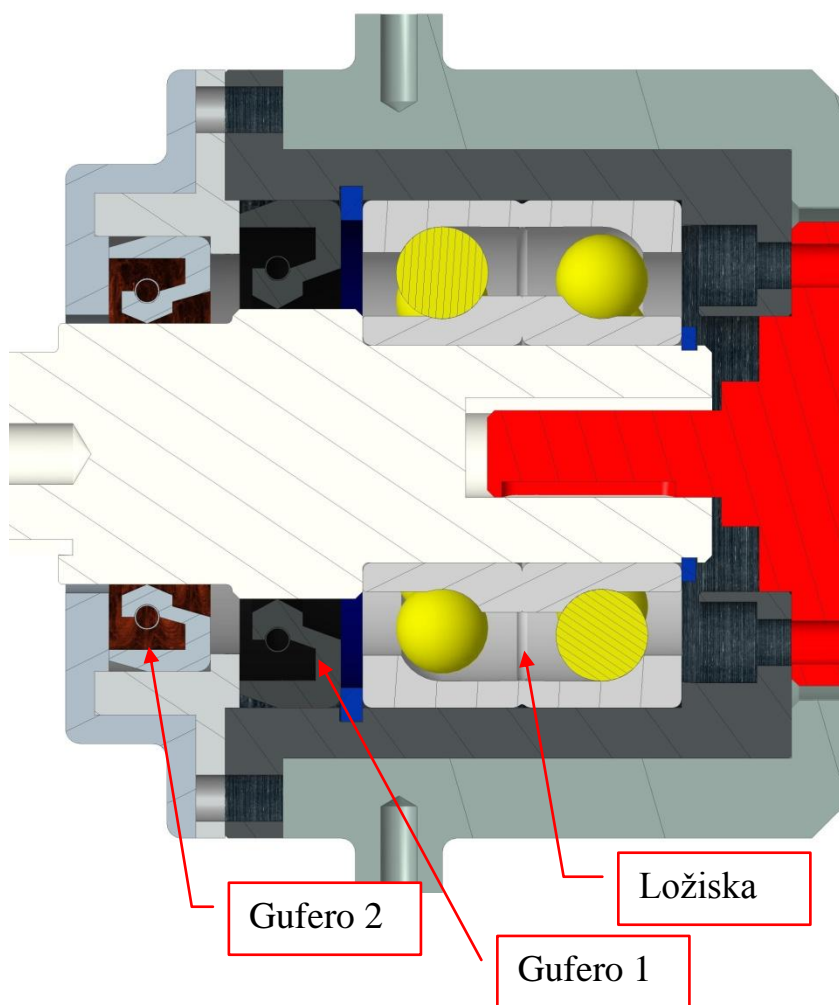
## 7.2 Varianta 2

Řešení utěsnění zadní části je naprosto totožné jako u první varianty. Víko by mohlo být řešeno tak, že by v krytu motoru byl vyřezán trubkový závit a víko by se do něj zašroubovalo. Tato možnost byla zvažována, ale i když by se jednalo o zajímavý a jistě dobrý způsob těsnění nebyla zvolena, protože je zde riziko komplikací spojených s pevně připojenou kabeláží. Kabeláž by se při otáčení víkem mohla zkroutit a tím by se mohl poškodit motor. Z těchto důvodů byla ponechána varianta s šesti šrouby.

Ložiska jsou opět kuličková jednořadá s kosoúhlým stykem. Jedná se o ložiska, která jsou od výrobce předem připravena k uložení v páru.

Jako těsnění jsou užita dvě gufera různých rozměrů. Tato gufera jsou usazena každé na jiném vnitřním průmětu.

Tato varianta opět motor a převodovku od společnosti Maxon nahrazuje alternativními výrobky od firmy Wenzhou Zhengke Electromotors (viz též kapitola 4).



Obr.7.2.1 - Varianta 2 - Detail osazené hřídele - Řez - 3D-model Pro/E

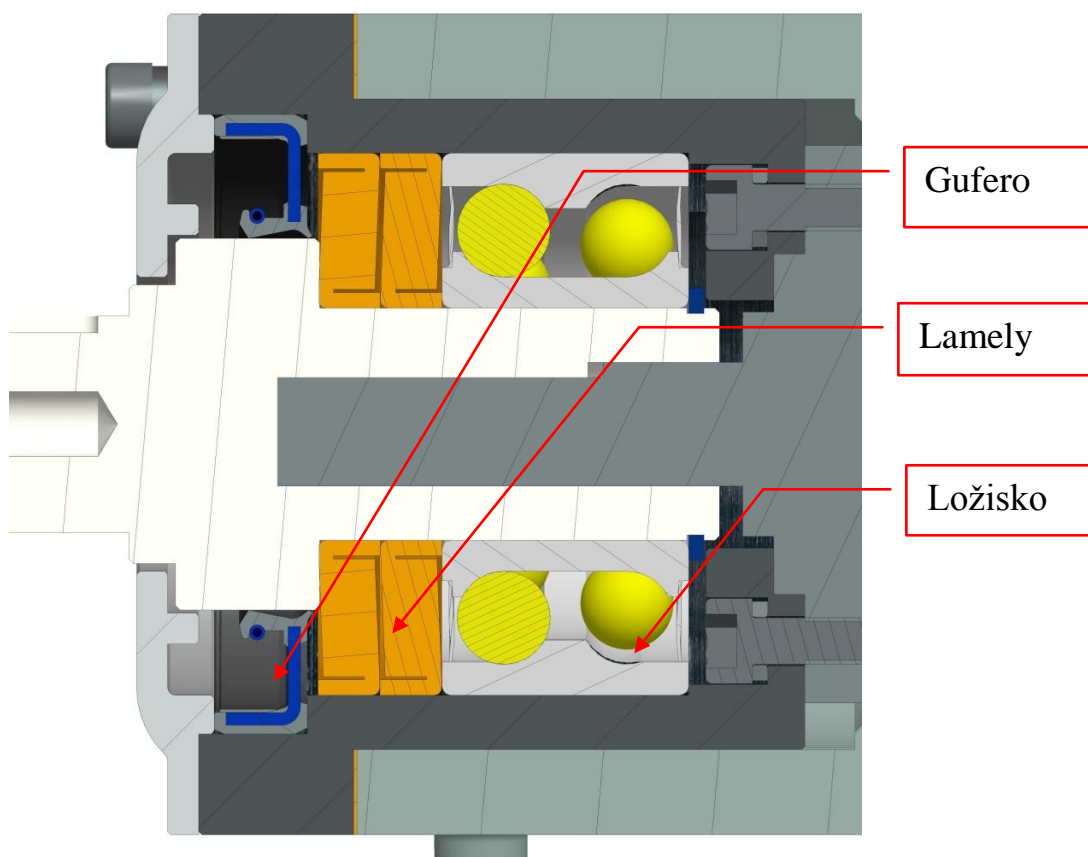
## 7.3 Varianta 3

Stejně jako u první i druhé varianty je těsnění zadní části motoru řešeno pomocí víka a těsnící průchodky. Víko je opět zajištěno šrouby. Toto řešení je velice jednoduché jak na výrobu tak na konstrukci, proto jsem se rozhodl jej neměnit.

Užitá ložiska v prvních dvou variantách jsou nahrazeny jedním, dvouřadým kuličkovým ložiskem s kosoúhlým stykem. Toto ložisko je v provedení ZZ čili je kryto z obou stran. Rozdíl oproti předchozím variantám je jednak v oboustranném krytí, ale také v tom, že toto ložisko má menší šířku. A stejně, jako předchozí řešení má schopnost přenášet zatížení v radiálním i axiálním směru.

Těsnění motoru je zde provedeno pomocí guferu. Toto gufero má velice vysokou odolnost na tlak. Výrobce uvádí odolnost až do 1 MPa. Gufero je doplněno speciálními těsníci lamelami, které jsou určeny pro těsnění rotujících hřídelí jako doplněk k ložiskům. Jako určitý druh doplňkového těsnění by mohlo posloužit i krytí ložiska.

Stejně jako v předchozích variantách jsou opět motor a převodovka od společnosti Maxon nahrazeny alternativními výrobky od firmy Wenzhou Zhengke Electromotors (viz též kapitola 4).



Obr.7.3.2 - Varianta 3 - Detail osazené hřídele - Řez - 3D-model Pro/E



## 8 Výběr optimální varianty

POPIS KRYTÉRIÍ		
OZNAČENÍ	KRITÉRIUM	CHARAKTERISTIKA KRITÉRIA
<b>K1</b>	<i>CELKOVÁ HMOTNOST</i>	Hmotnost celé sestavy
<b>K2</b>	<i>CENA</i>	Ceny komponentů, které jsou proměnné u jednotlivých variant
<b>K3</b>	<i>VNĚJŠÍ ROZMĚRY</i>	Délka sestavy od krytu vrtule po průchodku
<b>K4</b>	<i>SLOŽITOST KONSTRUKCE</i>	Složitost montáže a výroby jednotlivých komponentů
<b>K5</b>	<i>TĚSNÍCÍ VLASTNOSTI</i>	Stupně těsnění jednotlivých variant

Tab.8.1 - Popis kritérií

UDĚLENÍ STUPŇŮ TĚSNĚNÍ		
Název těsnění	Charakter těsnění	Udělený stupeň těsnění
Gufero	Úplné těsnění	1°
Těsnící lamely	Úplné těsnění	1 °
Atypické labyrintové těsnění	Neúplné těsnění	0,5 °
ZZ Krytí ložiska	Doplňující částečné těsnění	0,2 °

Tab.8.2 - udělení stupňů těsnění

<b>K1</b>		
Číslo varianty	Proměnné komponenty	Hmotnost (kg)
<b>Varianta 1</b>	Víko labyrintu, kr. labyrintu, víko gufera, dvě ložiska	0,7
<b>Varianta 2</b>	Dvě víka gufera, dvě ložiska, druhé gufero	0,5
<b>Varianta 3</b>	Víko gufera, ložiso, těsnící lamely	0,25

Tab.8.3 - K1 - hmotnost

<b>K2</b>		
<b>Číslo varianty</b>	<b>Proměnné komponenty</b>	<b>Cena (Kč)</b>
<b>Varianta 1</b>	Víko labyrintu, kr. labyrintu, víko gufera, dvě ložiska	4.000
<b>Varianta 2</b>	Dvě víka gufera, dvě ložiska, druhé gufero	3.750
<b>Varianta 3</b>	Víko gufera, ložisko, těsnící lamely	2.500

*Tab.8.4 - K2 - Cena*

<b>K3</b>	
<b>Číslo varianty</b>	<b>Délka</b>
<b>Varianta 1</b>	247
<b>Varianta 2</b>	245
<b>Varianta 3</b>	236

*Tab.8.5 - K3 - Délka*

<b>K4</b>	
<b>Číslo varianty</b>	<b>Výrobní náročnost</b>
<b>Varianta 1</b>	Vyšší výrobní náročnost
<b>Varianta 2</b>	Malá výrobní náročnost
<b>Varianta 3</b>	Malá výrobní náročnost

*Tab.8. 6 - K4 - Výrobní náročnost*

<b>K5</b>		
<b>Číslo varianty</b>	<b>Proměnné komponenty</b>	<b>Hmotnost (kg)</b>
<b>Varianta 1</b>	Labyrint, gufero	1,5 °
<b>Varianta 2</b>	Dvě gufera	2 °
<b>Varianta 3</b>	Gufero, těsnící lamely, ZZ krytí ložiska	2,2 °

Tab.8.7 - K5 - Těsnění

<b>STUPNICE HODNOCENÍ</b>	
<b>STUPĚŇ ÚROVNĚ</b>	<b>BODY</b>
Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab.8.8 - Stupnice hodnocení

<b>UDĚLENÉ BODY</b>			
<b>KRITÉRIUM</b>	<b>VARIANTA 1</b>	<b>VARIANTA 2</b>	<b>VARIANTA 3</b>
<b>K1</b> - celková hmotnost	4	5	6
<b>K2</b> - cena	3	4	5
<b>K3</b> - vnější rozměry	5	5	5
<b>K4</b> - složitost konstrukce	2	5	5
<b>K5</b> - těsnící vlastnosti	3	5	6

Tab.8.9 - Udělené body

METODA POROVNÁVÁNÍ V TROJÚHELNÍKU PÁRŮ						
Porovnávané páry funkcí				Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
K1	<u>K1</u>	K1	K1	0,5	4	1,14
<u>K2</u>	<u>K3</u>	<u>K4</u>	<u>K5</u>			
	<u>K2</u>	<u>K2</u>	<u>K2</u>	3	2	1,86
	K3	<u>K4</u>	<u>K5</u>			
		K3	K3	0,5	4	1,14
		<u>K4</u>	<u>K5</u>			
			K4	2,5	3	1,71
			<u>K5</u>	3,5	1	2

Tab.8.10 - Určení váhy významnosti

VÝSLEDEK VÝBĚRU OPTIMÁLNÍ VARIANTY	
Varianta	Body
Varianta č. 1	25,26
Varianta č. 2	38,69
Varianta č. 3	<b>42,39</b>

Tab.8.11 - Výsledek

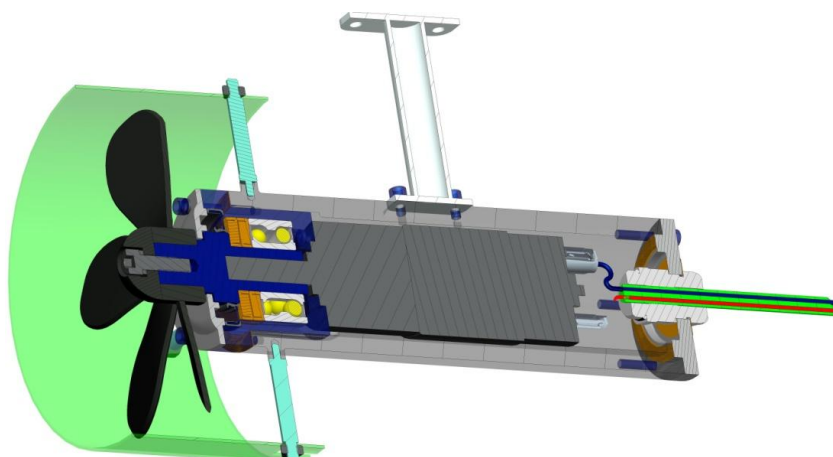
Na základě výsledků výběrových analýz byla zvolena Varianta 3, jelikož tato varianta dosáhla největšího výsledku při výběru.

## 9 Zvoleného konstrukčního řešení

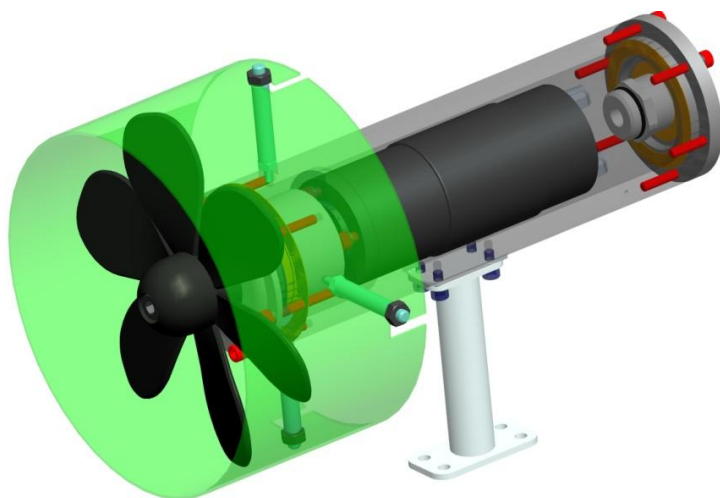
### 9.1 Výhody vybrané varianty

Vybraná varianta konstrukčního řešení má několik předností, tou největší je asi stupeň těsnění, který tato varianta má. Další výhodou by mohla být vysoká úroveň kompatibility jednotlivých komponent, která je zaručena výběrem výrobků od stejných výrobců. Oproti stávajícímu návrhu je krom vyřešení nedostatků největší výhodou konečná cena, která se díky nové volbě motoru značně snížila. Zvolená varianta má oproti zbylým dvěma navrženým nižší hmotnost a je kratší.

### 9.2 Model vybrané varianty



*Obr.9.2.1 - Řez vybranou variantou pohonu - 3D-model Pro/E*



*Obr.9.2.2 - Vybraná varianta pohonu - 3D-model Pro/E*

## 10 Návrh komponent pohonu

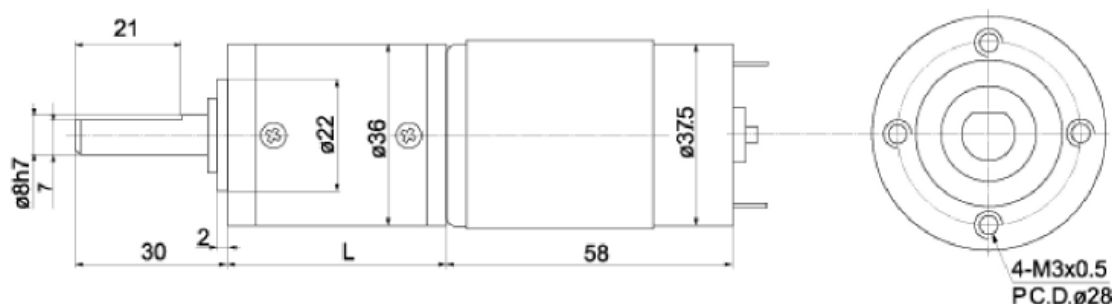
### 10.1 Komponenty k zakoupení

#### Motor

Navržený DC motor je dodáván jako komplet s planetovou převodovkou. Výrobce i dodavatelem je čínská firma WENZHOU ZHENGKE ELECTROMOTOR CO. V boxu jsou kromě motoru a převodovky ještě dvě kuličková ložiska. Pro přichycení jsou v převodovce díry se závity M3 x 0,5. Pro napojení kabeláže je užito dvou plochých kolíků Faston.

#### **DC Spur Gear Motor**

##### **ZGX36RH Series Ø 36mm**



Obr.10.1.1 - Schéma motoru ZGX36RH

Označení motoru

ZGX36RH-2460-14

Pracovní napětí	V (DC)	24
Otáčky nezatíženého motoru	$\text{min}^{-1}$	428
Proud nezatíženého motoru	A	0,215
Pracovní otáčky	$\text{min}^{-1}$	325
Pracovní proud	A	1,083
Pracovní moment	Nm	0,426
Maximální moment	Nm	3,0
Délka převodovky	mm	37

Tab.10.1.1 - Vlastnosti motoru ZGX36RH-2460-14



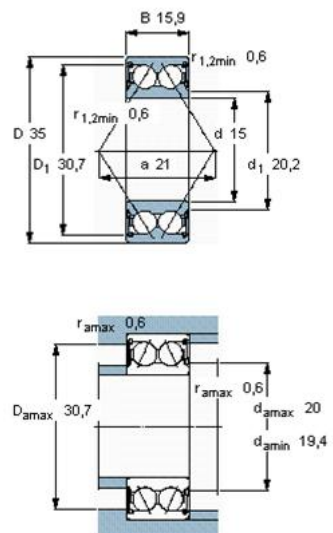
Obr.10.1.2 - Ilustrační foto motoru ZGX36RH

## Ložisko

Navržené ložisko je valivé dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem od firmy SKF. Toto ložisko má těsnění na obou stranách.

Označení ložiska	5202 A-2RS1TN9		
Vnější průměr	$D$	mm	35
Vnitřní průměr	$d$	mm	15
Šířka	$B$	mm	15,9
Dynamická únosnost	$C$	kN	11,2
Statická únosnost	$C_0$	kN	6,8
Mezní únavové zatížení	$P_U$	kN	0,285
Mezní otáčky	$n$	$\text{min}^{-1}$	14000
Hmotnost	$m$	kg	0,066

Tab.10.1.2 - Vlastnosti ložiska 5202 A - 2RS1TN9



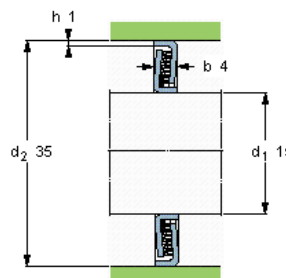
Obr.10.1.3 - Schéma ložiska 5202

## Těsnící lamely

Těsnící lamely typu Z tvoří účinné labyrintové těsnění. Těchto lamel se používá jako doplňkového těsnění. Lamely vyrábí firma SKF

Označení lamel	Z 202 F		
Vnější průměr	$d_2$	mm	35
Vnitřní průměr	$d_1$	mm	15
Šířka	$B$	mm	4
Výška osazení	$h_1$	mm	1

Tab.10.1.3 - Vlastnosti lamel Z202F



Obr.10.1.4 - Schéma těsnící lamely Z202F

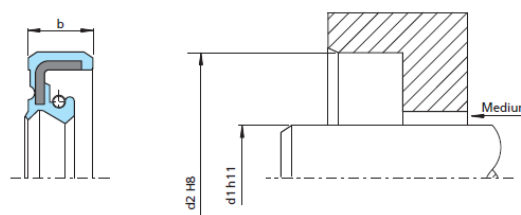
## Gufero

Navržené gufero je výrobcem označováno jako radiální hřídelové těsnění. Skládá se z elastomerové těsnicí části, kovového výztužného kroužku a spirálové předepínací pružiny. Použitý typ má velmi vysokou odolnost na tlak kapaliny. Výrobcem je firma TRELLEBORG.

Označení guferu *TRQ0D0240*

Vnější průměr	$d_2$	mm	40
Vnitřní průměr	$d_1$	mm	20
Šířka	$b$	mm	6
Tlak	$p$	MPa	Až 1
Min. teplota	$t_{min}$	°C	-40
Max. teplota	$t_{max}$	°C	200
Max. rychlost	$V$	$ms^{-1}$	5

Tab.10.1 4 - Vlastnosti guferu TRQ0D0240



Obr.10.1.5 - Schéma guferu TRQ0D0240

## Kabelová průchodka

Navržená tlakově vodotěsná kabelová průchodka od společnosti LAPP GROUP je vyrobena z poniklované mosazi a ve své třídě má nevyšší odolnost vůči tlaku. Tato průchodka je s metrickým připojovacím závitem podle EN 50262. Speciální kuželový těsnicí prvek z Vitonu zajišťuje velkoplošné utěsnění, tím se dosahuje vynikající tlakové odolnosti a odlehčení tahu.

Označení průchodky *52105450*

Funkční závit	$M$		16x1,5
Světlost těsnění		mm	7
Rozsah sevření	$\phi F$	mm	5,8 - 6,8
Otvor klíče	OK	mm	17/18
Min. teplota	$t_{min}$	°C	-15
Max. teplota	$t_{max}$	°C	200
Krytí			IP 68
Max. tlak	$p$	MPa	1

Tab.10.1.5 - Vlastnosti průchodky 52105450



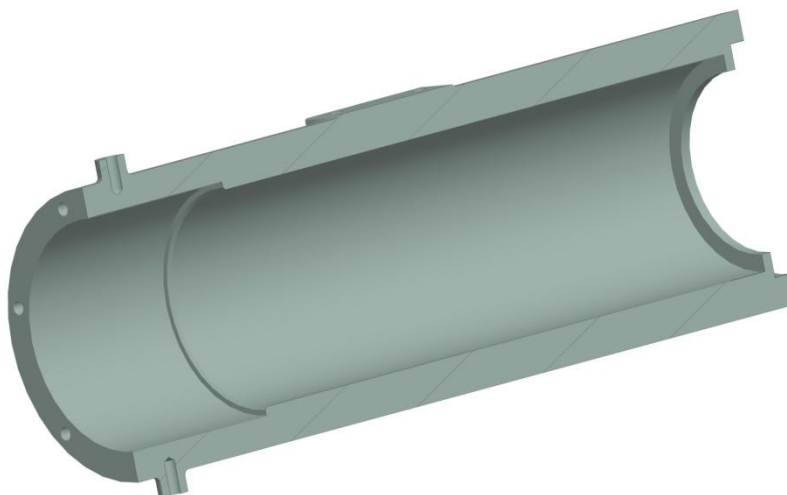
Obr.10.1.6 - Ilustrační foto kabelové průchodky



## 10.2 Navržené komponenty

### Kryt pohonu

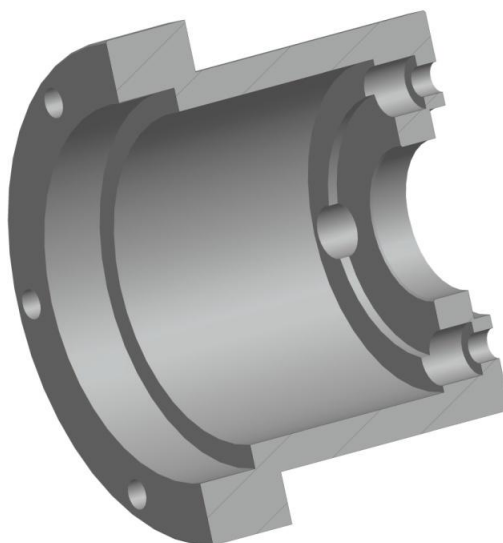
Kryt pohonu je odlitek. Použitý materiál je Dural AlMg4,5Mn0,7 - EN AW 5083. Výhodou tohoto materiálu je jeho nízká hustota a od toho se odvíjející nízká hmotnost.



Obr.10.2.1 - Kryt pohonu - Řez - 3D-model Pro/E

### Příruba motoru

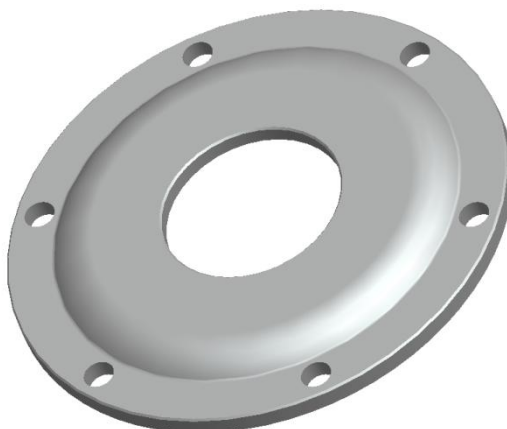
Příruba motoru je vyrobena z oceli (17 024) . V místě uložení gufera je nutno dodržet toleranci H8 , v místě uložení těsnících lamel a ložiska je doporučená tolerance P6.



Obr.10.2.2 - Příruba motoru - Řez - 3D-model Pro/E

### **Víko gufera**

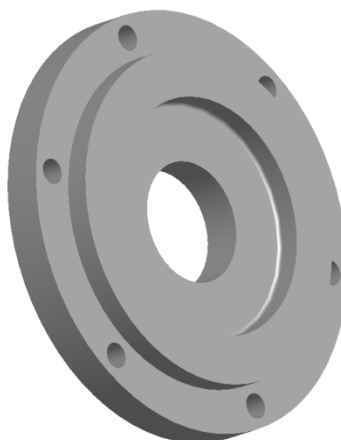
Víko gufera je vyrobeno oceli (17 024), ale jelikož se jedná o méně namáhaný komponent bez zvýšených požadavků na přesnost je možno jej vyrobit z Polykarbonátu (PC). Tím by se snížily výrobní náklady a hmotnost víka.



*Obr.10.2.3 - Víko gufera - 3D-model Pro/E*

### **Víko kabeláže**

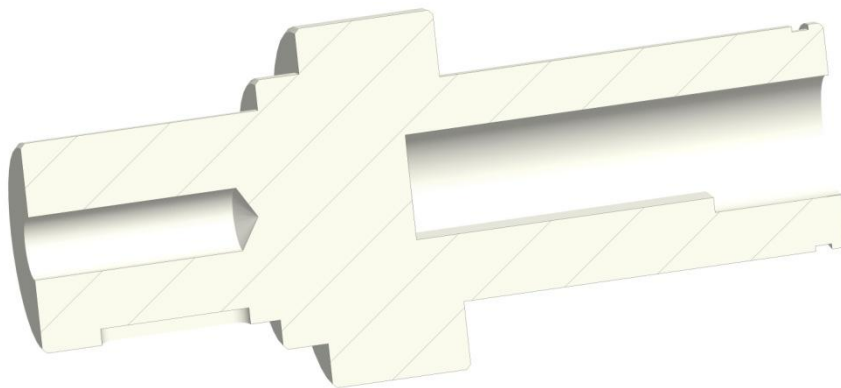
Víko kabeláže je stejně jako víko je vyrobeno oceli (17 024), ale opět je možno jej vyrobit z Polykarbonátu (PC).



*Obr.10.2.4 - Víko kabeláže - 3D-model Pro/E*

## Hřídel

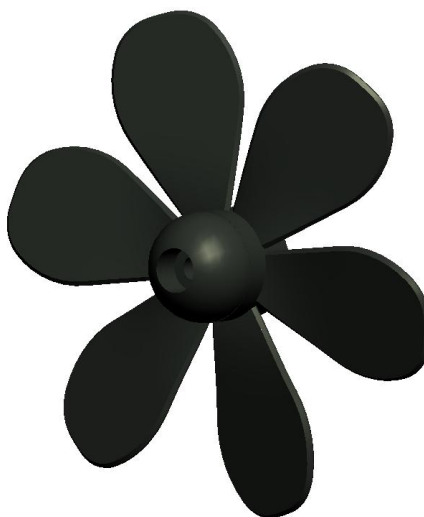
Hřídel je vyrobena z oceli (17 024). V místě uložení gufera je povrch cementován do hloubky 0,2 mm požadovaná přesnost je zde h11 . Doporučená tolerance díry pro hřídel motoru je h7. Pro uložení ložiska se doporučuje j5.



*Obr.10.2.5 - Hřídel - Řez - 3D-model Pro/E*

## Vrtule

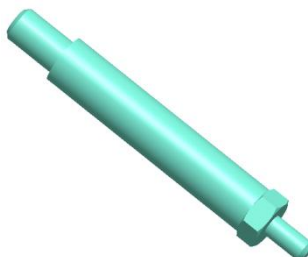
Vrtule se skládá z pěti listů, čepičky a náboje. Materiál navržený pro výrobu je POLYKARBONÁT (PC).



*Obr.10.2.6 - Vrtule - 3D-model Pro/E*

### **Spojovací šroub**

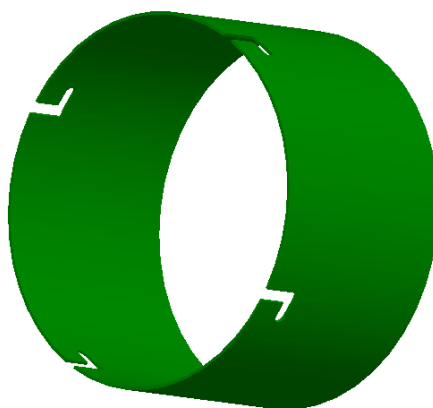
Je vyroben z oceli (17 024). Na menším trnu je zhotoven závit M3 na větší závit M4.



*Obr.10.2.7 - Spojovací šroub - 3D-model Pro/E*

### **Kryt Vrtule**

Kryt vrtule je vyroben ze SILON-POLYAMIDU (PA 6)



*Obr.10.2. 8 - Kryt vrtule - 3D-model Pro/E*

### **Těsnění**

Je výstřížek z těsnicí pryže případně z KLINGERITU.



*Obr.10.2. 9 - Ukázka těsnění - 3D-model Pro/E*

## **10.3 Komponenty k vytvoření spojů,kroužky,pera...**

### **Šrouby**

V sestavě je použito pět následujících typů šroubů:

- M3 x 6 (4 ks.)
- M3 x 20 (6 ks.)
- M3 x 25 (6 ks.)
- M5 x 15 (1 ks.)

Všechny zmíněné šrouby mají válcovou hlavu s vnitřním šestihranem a odpovídají normě ČSN 02 1143.27.

### **Matice**

V sestavě je použito jednoho druhu matice. Jedná se o matici M4 - ČSN EN 24035. Celkem je použito 4 kusů.

### **Podložky**

Podložky odpovídají normě ČSN 02 1740. Je použito dvou průměrů ø3 (16 ks.) a ø5 (1 ks.) .

### **Pojistné kroužky**

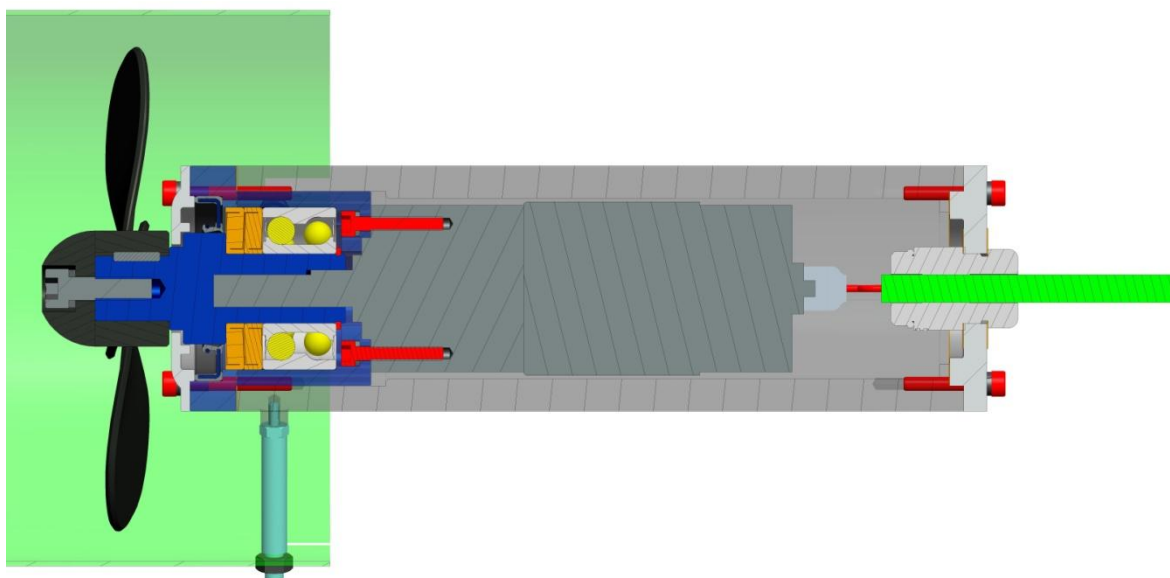
K zajištění ložiska je použit kroužek pro hřídele ø15 - ČSN 02 2930.

### **Pero**

Na hřídeli je použito pero 2e7x2x10 - ČSN 02 2562.

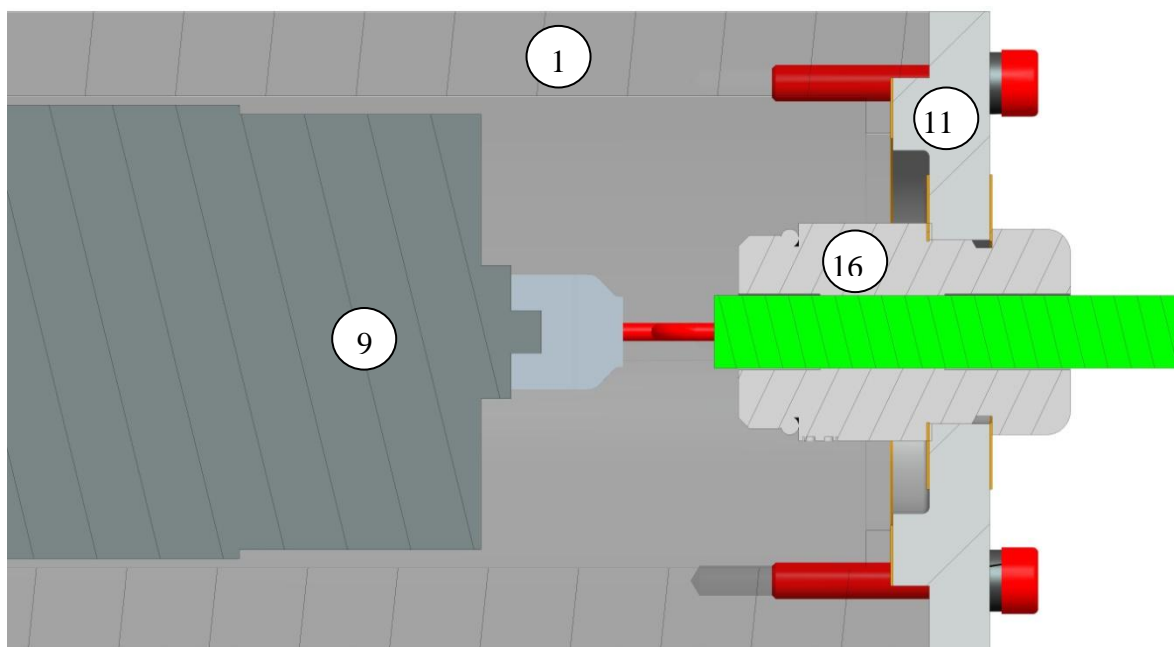
## 11 Konstrukce pohonu

### 11.1 Řez pohonem

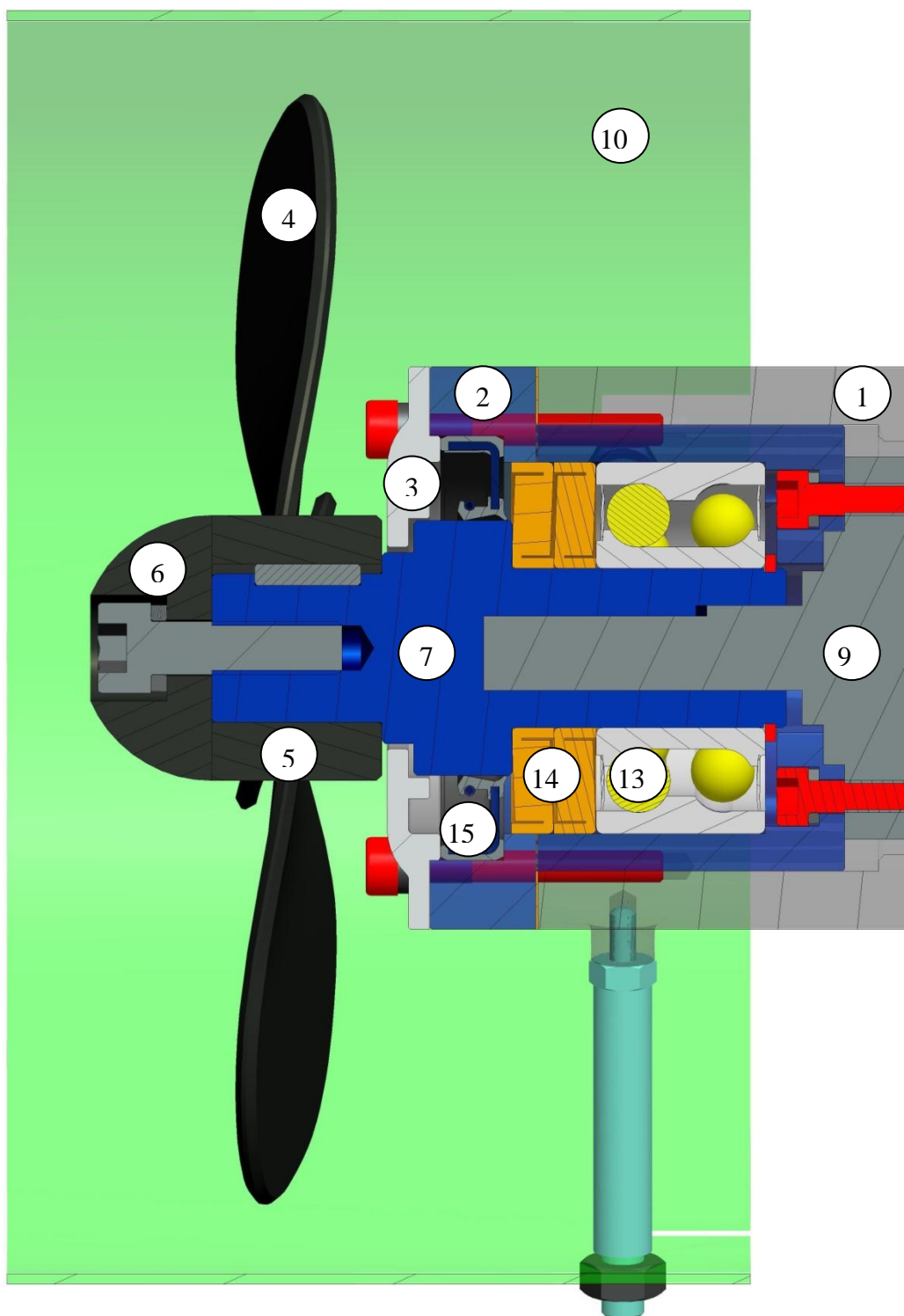


Obr.11.1 - Řez pohonem - 3D-model Pro/E

#### 11.1.1 Popis pohonu



Obr.11.1.1 - Pravá strava pohonu - Řez - 3D-model Pro/E



Obr.11.1.2 - Levá strana pohonu - Řez - 3D-model Pro/E

1	Kryt motoru	8	Spojovací šroub	14	Těsnící lamely SKF
2	Příruba motoru	9	Převodovka , Motor	15	Gufero
3	Víko gufera	10	Kryt vrtule	16	Průchodka
4	List vrtule	11	Víko kabeláže	17	Hřídel
5	Náboj vrtule	12	Pero		
6	Čepička vrtule	13	Ložisko		
7	Hřídel				

## 11.2 Montážní postup

### 11.2.1 Spojení příruby motoru s převodovkou

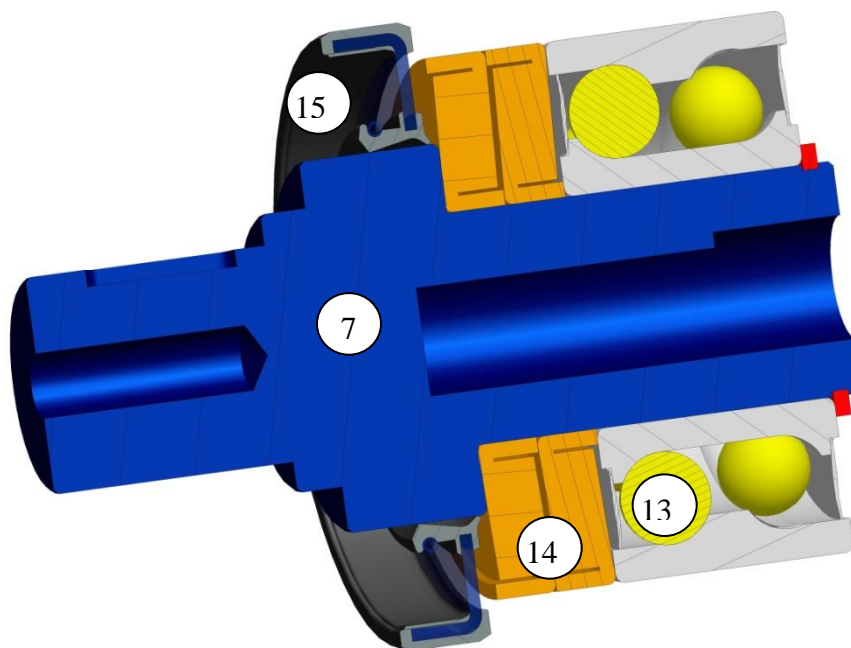
Do čtyř průchozích děr v přírubě motoru (poz.2) jsou vloženy podložky, poté se spojí příruba s převodovkou (poz.9) pomocí čtyř šroubů.



Obr.11.2.1 - Spojení příruby motoru s převodovkou - 3D-model Pro/E

### 11.2.2 Částečné osazení hřídele

Na hřídel (poz.7) jsou nasazeny těsnící lamely SKF (poz.14), poté se na hřídel nalisuje ložisko SKF (poz.13), teplota ložiska a tlak potřebný k jeho nalisování je v technické dokumentaci výrobce ložiska. Po usazení ložiska je na hřídel nasazen pojistný kroužek pro hřídele, tím se zajistí ložisko proti posuvu.

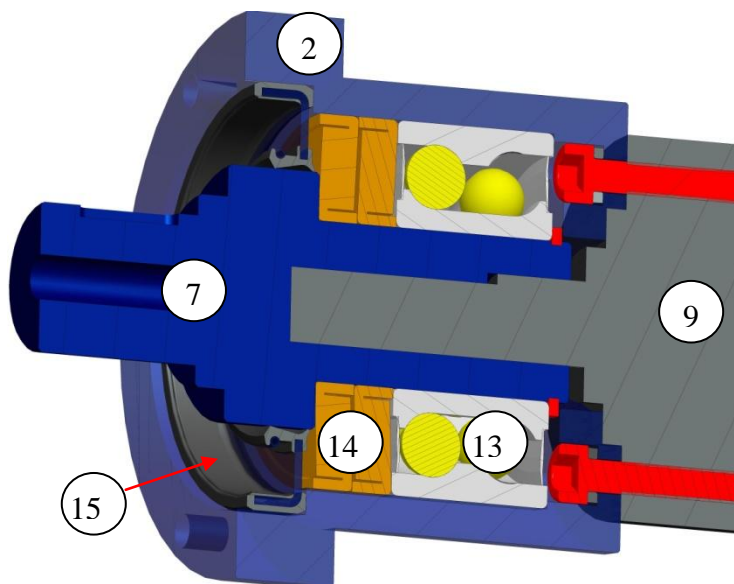


Obr.11.2.2 - Částečné osazení hřídele - Řez - 3D-model Pro/E



### 11.2.3 Uložení osazené hřídele do příruby motoru

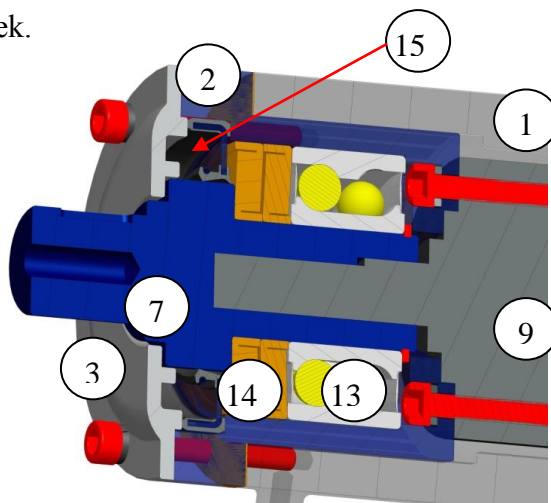
Částečně osazená hřídel (poz.7) je nalisována do příruby motoru (poz.2), toto nalisování probíhá opět dle předpisů daných výrobcem ložiska. Při nalisování je nutno dbát zřetel na to, že se zároveň vsunuje hřídel převodovky (poz.9) do tvarované díry na hřídeli (poz.7). Po tomto nalisování se vloží do příruby gufero (poz.15).



Obr.11.2.3 - Uložení a osazení hřídele do příruby - 3D-model Pro/E

### 11.2.4 Uložení a smontování doposud zhotovené podsestavy do krytu motoru

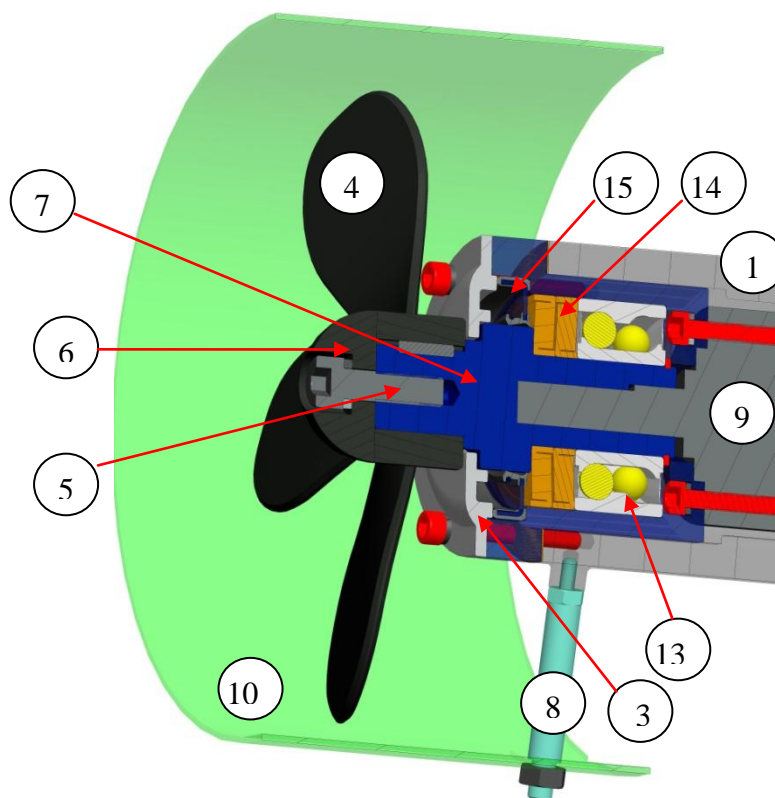
Na kryt motoru (poz.1) je nasazeno těsnění , poté je do krytu vsunuta podsestava, která vznikla v předchozím kroku. Na přírubu motoru (poz.2) je nasazeno víko guferu (poz.3), které tak zabraňuje guferu (poz.13 ) v posunu. Poté je takto zhotovený celek spojen pomocí šesti šroubů a šesti podložek.



Obr.11.2.4 - Uložení a smontování doposud zhotovené podsestavy do krytu motoru - 3D-model Pro/E

### 11.2.5 *Usazení sestavy vrtule na hřídel a její následné zakrytí*

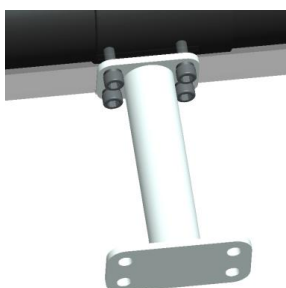
Na hřídel (poz.7) je nasazeno pero. Poté je na ni nasunuta sestava vrtule (poz.4,5,6) resp. náboj (poz.5) vrtule. Poté se sestava vrtule spojí s hřídelí (poz.7 ) pomocí šroubu a podložky. Po provedení předchozích kroků jsou na kryt motoru (poz.1) přišroubovány spojovací šrouby (poz.8 ) a na ty je posléze nasunut kryt vrtule (poz.10) ten je zajištěn čtyřmi maticemi a podložkami.



Obr.11.2.5 - - Usazení sestavy vrtule na hřídel a její následné zakrytí - 3D-model Pro/E

### 11.2.6 *Spojení pohonu s robotem*

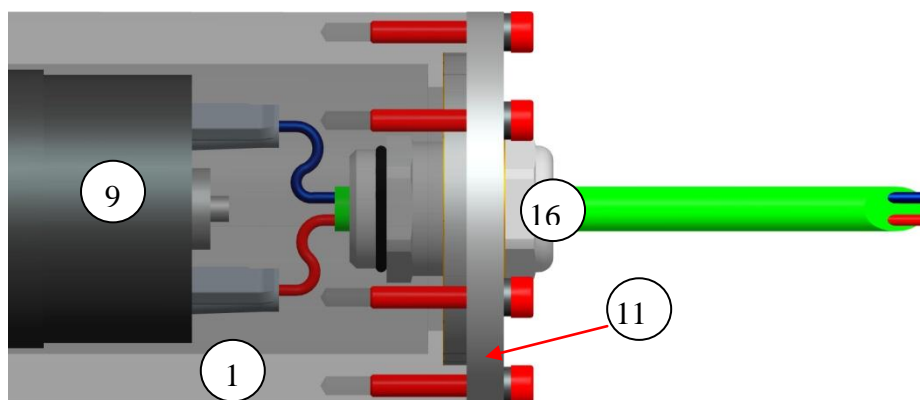
Na kryt motoru (poz.1) je pomocí čtyř šroubů a podložek přichycena konzola pohonu. Stejným způsobem se konzola a tím i celý pohon přichytí k robotu.



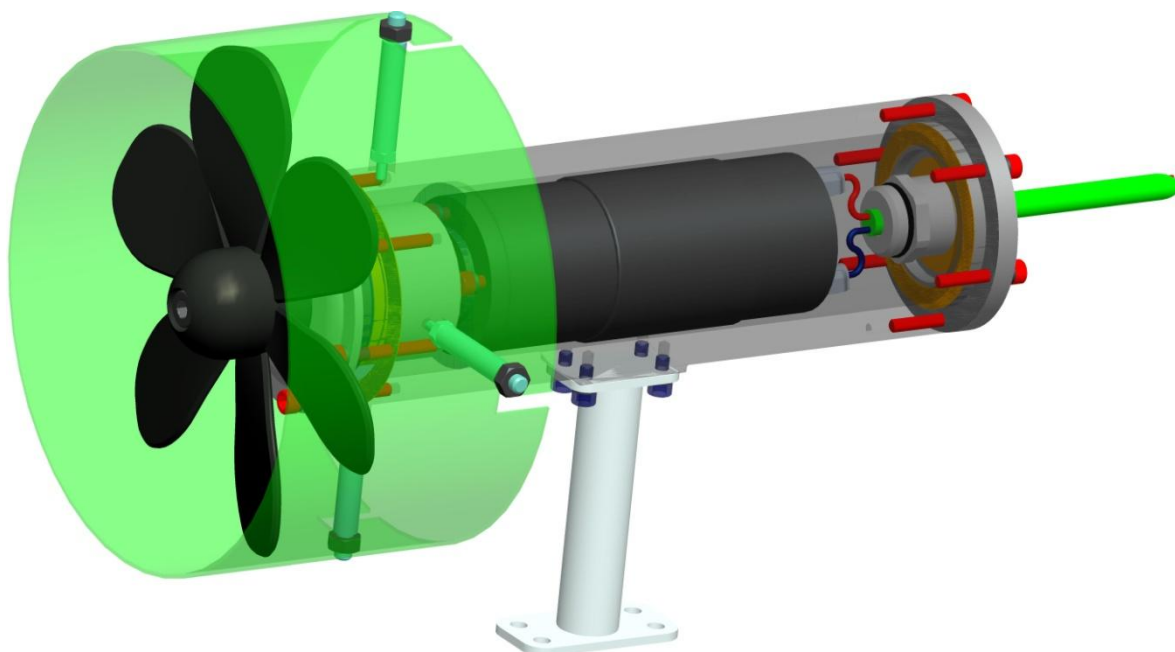
Obr.11.2.6 - Spojení pohonu s robotem - 3D-model Pro/E

### 11.2.7 Připojení kabeláže přes průchodku a úplné utěsnění pohonu

Kabeláž vedená z robotu je provlečena průchodkou (poz.16 ), ta je vložena podle postupu udávaného výrobcem do víka kabeláže (poz.11). Na víko se nasadí dva těsnící kroužky, kabeláž se zapojí do motoru pomocí přípojek Faston a víko je přišroubováno pomocí šesti šroubů a podložek ke krytu motoru (poz.1). Tímto krokem je celá sestava pohonu zhotovena.



Obr.11.2.7 - Připojení kabeláže přes průchodku a úplné utěsnění pohonu - 3D-model Pro/E



Obr.11.2.8 - Kompletní sestava pohonu - 3D-model Pro/E

## 12 Kontrolní výpočty

Jelikož byl celý pohon pozměněn je důležité zkontrolovat, zda komponenty, které jsou navrhnuty z původního řešení budou vyhovovat novým požadavkům. Předně je důležité provést kontrolu vrtule, protože nově použitý a původní motor mají odlišné hodnoty momentu ( $M_{Kvyst}$ ), který je na výstupu z převodovky a otáček ( $n$ ), které jsou rovněž na výstupu z převodovky. V dalších dvou kontrolních výpočtech je přepočtena životnost nově navrženého ložiska a provedena kontrola pera na otlacení. V posledním výpočtu je vypočteno maximální možné zrychlení motoru ( $\varepsilon$ ), kterého je motor schopen vzhledem k maximálnímu možnému výstupnímu momentu ( $M_{max}$ ).

### 12.1 Kontrola vrtule

#### Dáno:

Obvodový průměr lopatek:  $D_k = 0,115m$

Průměr náboje:  $D_n = 0,025m$

Počet lopatek:  $z = 6$

Poměr  $\frac{H}{D_k}$ : 2

Otáčky na výstupu z převodovky:  $n = 325 \text{ ot/min}$

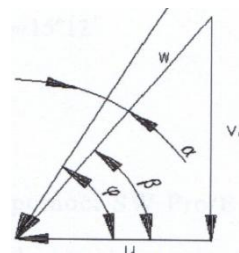
#### Výpočet:

Úhlová rychlost vrtule:  $\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi 320}{60} = 34 \text{ rad} \cdot s^{-1}$

Geometrické stoupání vrtule:  $H = 2 \cdot D_k = 2 \cdot 0,115 = 0,23m$

Rozteč mezi lopatkami:  $T_1 = \frac{\pi \cdot D_k}{z} = \frac{\pi \cdot 0,115}{6} = 0,06m$

## Proudová plocha:



12.1.1 - Vektorový součet rychlostí

Pro popis vrtule je zvolen řez v 70% poloměru

Poloměr proudové plochy:  $r = 0,7 \cdot \frac{D_k}{2} = 0,7 \cdot \frac{0,115}{2} = 0,04m$

Obvodová rychlost:  $u = \frac{2\pi r n}{60} = \frac{2\pi 0,04 \cdot 325}{60} = 1,37m \cdot s^{-1}$

Úhel nastavení lopatky:  $\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{H}{2\pi r} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0,23}{2\pi 1,37} \right) = 42,29^\circ$

Výsledná rychlost:  $w = \sqrt{v_p^2 + u^2} = \sqrt{0,6^2 + 1,37^2} = 1,495m \cdot s^{-1}$

Úhel rychlosti:  $\beta = \tan^{-1} \left( \frac{v_p}{u} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0,6}{1,37} \right) = 23,65^\circ$

Úhel skluzu:  $\alpha = \varphi - \beta = 42,29^\circ - 23,65^\circ = 18,63^\circ$

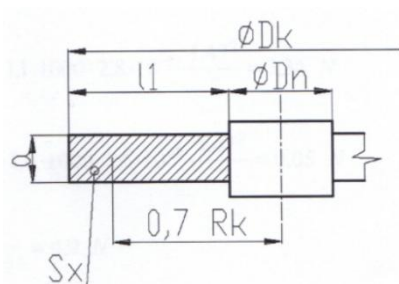
## Parametry vrtule pro vypočtenou proudovou plochu:

Plocha lopatky  $S_1 = 0,00414m^2$  (naměřeno v Pro/E).

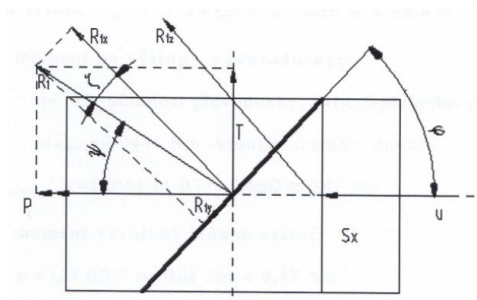
Výpočet je zjednodušen. Pro charakteristický poloměr jsou navrženy ekvivalentní plochy kolmé k vektoru rychlosti  $u$  a  $w$ . Z rychlosti a plochy je určena celková odporová síla, která je rozložena na tahovou sílu a sílu způsobující kroutící moment na hřídeli pohonu (Obr.12.1.2).

Průmět plochy lopatky do čelní roviny vektoru rychlosti  $u$ , což je ekvivalentní plocha (Obr.12.1.3)  $S_x$ .

$$S_x \approx S_1 \cdot \sin \varphi = 0,00414 \cdot \sin 42,29^\circ = 0,004107m^2$$



12.1.3 - Ekvivalentní plocha lopatky



12.1.2 - Síly na lopatce

Délka ekvivalentní plochy:  $l_1 = \frac{D_k - D_n}{2} = \frac{0,115 - 0,025}{2} = 0,045m$

Ekvivalentní šířka:  $a = \frac{S_x}{l_1} = \frac{0,004107}{0,045} = 0,09m$

Tloušťka lopatky:  $t = 2mm$

Průmět čelní plochy do roviny kolmé k vektoru rychlosti  $\mathbf{w}$  :

$$S_y = l_1 \cdot t = 0,045 \cdot 0,002 = 0,00009m^2$$

**Poměry:**

$$\frac{l_1}{a} = \frac{0,045}{0,09} = 0,49 \gg \text{součinitel odporu } C_x = 1,12$$

$$\frac{l_1}{t} = \frac{0,045}{0,002} = 22,5 \gg \text{součinitel odporu } C_y = 1,4$$

**Odpor ploch:**

$$R_{1x} = C_x \cdot \rho \cdot S_x \cdot \frac{u^2}{2} = 1,12 \cdot 1000 \cdot 0,004107 \cdot \frac{1,37^2}{2} = 4,3159N$$

$$R_{1y} = C_y \cdot \rho \cdot S_y \cdot \frac{u^2}{2} = 1,4 \cdot 1000 \cdot 0,00009 \cdot \frac{1,37^2}{2} = 0,1182N$$

$$R_{1z} = \frac{R_{1x}}{\sin \varphi_{II}} = \frac{4,3159}{\sin 42,29^\circ} = 4,3505N$$

$$R_1 = \sqrt{R_{1y}^2 + R_{1z}^2} = \sqrt{0,1182^2 + 4,3505^2} = 4,3521N$$

$$\xi = \tan^{-1} \left( \frac{R_{1y}}{R_{1z}} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0,1182}{4,3505} \right) = 1,5567^\circ$$

$$\psi = 180 - 90 - \varphi_{II} - \xi = 180 - 90 - 42,29 - 1,5567 = 46,1582^\circ$$

Síla vytvářející moment na jedné lopatce:

$$P_1 = R_1 \cdot \cos \psi = 4,3521 \cdot \cos 46,1582^\circ = 2,4759N$$

Síla vytvářející tah na jedné lopatce:

$$T_1 = R_1 \cdot \sin \psi = 4,3521 \cdot \sin 46,1582^\circ = 3,5792N$$

**Parametry vrtule:**

Potřebný tah v jednom směru: **38,6 N**

**Tah obou vrtulí:**

$$F_{tah} = T_1 \cdot z \cdot 2 = 3,5792 \cdot 6 \cdot 2 = 42,95N > \mathbf{38,6N}$$

Kroutící moment na výstupu z převodovky (dáno):  **$M_{k\text{ výst}} = 0,426 \text{ Nm}$**

**Kroutící moment vyvolaný jednou vrtulí:**

$$M_k = P_1 \cdot r \cdot z = 3,35 \cdot 0,022 \cdot 6 = 0,327Nm < \mathbf{0,426 Nm}$$

**Navržená vrtule vyhovuje !!!**

## 12.2      Kontrola ložiska

### Ložisko SKF 5202 A-2RS1TN9 (10.1.2)

**Dáno:**

$$\begin{array}{llll} C = 11200 \text{ N} & C_O = 6800 \text{ N} & n = 325 \text{ min}^{-1} & F_r = 10 \text{ N} \quad F_n = 21,5 \text{ N}, \\ X = 0,63 & Y = 1,24 & e = 0,8 & m = 3 \end{array}$$

**Výpočet:****Ekvivalentní dynamické zatížení:**

$$F_e = X \cdot F_r + Y \cdot F_n = 0,63 \cdot 10 + 1,24 \cdot 21,5 = 32,96 \text{ N}$$

**Trvanlivost ložiska:**

$$L_h = \frac{16667}{n} \cdot \left(\frac{C}{F_e}\right)^m = \frac{16667}{325} \cdot \left(\frac{11200}{32,96}\right)^3 = 2,01 \cdot 10^6 \text{ hod.} \gg \gg \text{VYHOVUJE}$$

## 12.3 Kontrola pera na otlačení

Pero 2e7x2x10 (b x h x l) ČSN 02 2562 (10.3.5)

### Dáno:

Materiál 17 024, pro střídavé napětí  $p_{Dt} = 125 \text{ MPa}$ ,  $M_k = 426 \text{ Nmm}$ ,  $d = 14 \text{ mm}$   
 $k_d = 2$  - koeficient bezpečnosti (dynamické namáhání)

### Výpočet:

$$M_t = M_k \cdot k_d = 426 \cdot 2 = 852 \text{ Nmm}$$

$$l_s = l - b = 8 \text{ mm}$$

$$p = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot l_s \cdot \frac{h}{2}} = \frac{2 \cdot 852}{14 \cdot 8 \cdot \frac{2}{2}} = 15,21 \text{ MPa} \leq p_{Dt} \gggg \text{ VYHOVUJE}$$

## 12.4 Výpočet maximálního povoleného zrychlení při rozběhu motoru a čas potřebný pro dosáhnutí pracovních otáček

Hodnota momentu setrvačnosti (J), byla odečtena z 3D-modelu vytvořeného v programu Pro/E.

### Dáno:

Maximální přípustný moment motoru  $M_{\max} = 3 \text{ Nm}$

Moment setrvačnosti motoru  $J = 28 \text{ Nm}^2$

Pracovní otáčky na výstupu z převodovky  $n = 325 \text{ min}^{-1}$

$$M_a = M_{\max} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = J \cdot \varepsilon$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{\max} = \frac{M_{\max}}{J} = \frac{3}{28} = 1,07 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 325}{60} = 34 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \Rightarrow t_{\min} = \frac{\omega}{\varepsilon} = \frac{34}{1,07} = 32 \text{ s}$$



## 13 Technicko-ekonomické zhodnocení

Vyčíslení celkové ceny, všech komponentů je v případě navrženého pohonu velice obtížné, jelikož nelze určit přesnou cenu odlítků. Ta se odvíjí od ceny forem. Nelze ani vyčíslení návratnost, jelikož by se celý odhad musel započítat do pořizovací ceny robotu.

Pro určitou představu o cenové výhodnosti navržené varianty byla sestavena tabulka (tab. XX) ve které je spočtena předpokládaná suma potřebná k nákupu komponentů od výrobců a dodavatelů. Tato cena je spíše orientační, protože některé komponenty jsou navrženy k nákupu od zahraničních dodavatelů. Ti udávají své ceny v eurech nebo amerických dolarech. Do konečné ceny se promítne aktuální nákupní cena těchto valut. Pro orientační kalkulaci byl zvolen kurz eura  $1\text{€} = 25,5\text{ Kč}$  a kurz dolaru  $1\text{\$} = 20\text{ Kč}$ .

Z výsledné sumy jasně vyplývá, že oproti stávajícímu řešení byly náklady značně sníženy. Celková suma je více jak desetkrát nižší než aktuální udávaná cena za kterou lze nakoupit motor, převodovku a enkodér (vše od Maxon), které byly použity ve stávajícím návrhu. Z toho lze udělat závěr, že nové řešení je z technicko-ekonomického hlediska výhodné.

Název komponentu	Cena za 1 ks. v Kč	Počet použitých ks.	Cena celkem v Kč
Motor	800	1	800
Ložisko	760	1	760
Těsnící lamely	45	2	90
Gufero	980	1	980
Šrouby	15	17	255
Podložky	3	17	51
Matice	5	4	20
Těsnění	35	3	105
Pojistný kroužek	25	1	25
Pero	20	1	20
Cena celkem			3 106 Kč
Cena celkem za 4 pohony			12 424 Kč

Tab. 12.1 - Ceny komponentů navržených v pohonu

## 14 Závěr

V úvodu bakalářské práce byly podle zadání vypracovány analýzy aplikací podvodních monitorovacích robotů a pohonů, které se u těchto robotů vyskytují. V práci bylo hlavním úkolem navrhnout nové konstrukční řešení již navrženého pohonu podvodního robotu. To spočívalo především ve vyřešení těchto konstrukčních uzlů:

- připojení napájecí a řídicí kabeláže, tak aby nemusel být pohon v případě havárie celý demontován
- navrhnout oproti stávajícímu řešení lepší variantu ložiska umístěného na hřídeli, tak aby bylo sníženo zatížení působící na převodovku
- vyřešit oproti stávajícímu řešení lepší způsob těsnění motoru
- Navrhnout levnějšího motor a převodovku

Byly navrženy tři rozdílné varianty řešení. Na základě hodnotových analýz byla vybrána optimální varianta. V té bylo navrženo pro připojení kabeláže víko, které bylo doplněno těsnící kabelovou průchodkou. Ložisko umístěné na hřídeli bylo navrženo kuličkové dvouradé s kosoúhlým stykem. Utěsnění motoru bylo vyřešeno použitím speciálního gufera v kombinaci s těsnícími lamelami. Byl navržen nový motor, který je oproti původní variantě značně levnější, přičemž splňuje požadavky na něj kladené.

Funkčnost finálního konstrukčního řešení byla ověřena kontrolními výpočty. K tomuto řešení byla vypracována výkresová dokumentace a zhotoven 3D model (viz též přílohy).

V případně realizace projektu je nutné zvážení navrhnutých materiálů a jejich případná záměna. Po navržení materiálů je třeba navrhnout pro dané komponenty výrobní technologii. Dále je také zapotřebí provést detailní technickoekonomické zhodnocení, které je závislé na zvolených materiálech, technologii výroby a také na aktuálním ceníku výrobců a kurzu zahraničních měn.

## Použitá literatura

- [1] CIBIEN, M. *Návrh mechatronického subsystému SR pro nasazení při živelních pohromách*. Ostrava, 2007. Diplomová práce (Ing.). VŠB-TU-Ostrava, Fakulta strojní.
- [2] Drábková, S. Kozubková, M.: *Cvičení z mechaniky tekutin*, 1.vydání Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 2002. 147s., Skriptum, ISBN 80-248-0039-X
- [3] Leinveber, J. Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. 1.vydání Praha:Scientia, 1996. 578s., ISBN 80-7183-008-9
- [4] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] Dostupné z [www:](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/) <<http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>>
- [5] KONEČNÝ, Z. Základy technické dokumentace. [online] Dostupné z [www :](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/) < <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace/>>
- [6] SKAŘUPA, J. Průmyslové roboty a manipulátory. [online] Dostupné z [www:](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/pram/index.html) <<http://robot2.vsb.cz/elekskripta/pram/index.html>>
- [7] SKAŘUPA, J. Kreativita a inovační myšlení v konstruování. [online] Dostupné z [www:](http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf) <[http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita\\_a\\_inovace.pdf](http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf)>
- [8] KÁRNIK, L. Servisní roboty - Modely a analýza, [online] Dostupné z [www:](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm) <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/index.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm)>
- [9] Wikipedia ROV. [online] Dostupné z [www :](http://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle) <[http://en.wikipedia.org/wiki/Remotely\\_operated\\_underwater\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle)>
- [10] Wikipedia AUV. [online] Dostupné z [www :](http://en.wikipedia.org/wiki/Auv) <<http://en.wikipedia.org/wiki/Auv>>
- [11] ROV Woods hole. [online] Dostupné z [www :](http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/rov.htm) <<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/rov.htm>>
- [12] Mini Rov VideoRay. [online] Dostupné z [www :](http://www.nauticexpo.de/prod/videoray/mini-rov-23504-208937.html#prod_208937) <[http://www.nauticexpo.de/prod/videoray/mini-rov-23504-208937.html#prod\\_208937](http://www.nauticexpo.de/prod/videoray/mini-rov-23504-208937.html#prod_208937)>
- [13] AUV Explorer 5000. [online] Dostupné z [www :](http://www.marum.de/en/AUV.html) <<http://www.marum.de/en/AUV.html>>
- [14] AUV Stingray. [online] Dostupné z [www :](http://cseweb.ucsd.edu/~cbarngrover/embedded.html) <<http://cseweb.ucsd.edu/~cbarngrover/embedded.html>>
- [15] Samonábíjecí podvodní robot. [online] Dostupné z [www :](http://www.rozhlas.cz/zpravy/veda/_zprava/718219) < [http://www.rozhlas.cz/zpravy/veda/\\_zprava/718219](http://www.rozhlas.cz/zpravy/veda/_zprava/718219) >
- [16] Maxon motor. [online] Dostupné z [www :](http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/236662.xml) <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/236662.xml>>
- [17] Maxon převodovka. [online] Dostupné z [www :](http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/166158.xml) <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/166158.xml>>

- [18] Faulhaber motor. [online] Dostupné z www :  
<[http://www.faulhaber.com/uploadpk/EN\\_2642CXR\\_DFF.pdf](http://www.faulhaber.com/uploadpk/EN_2642CXR_DFF.pdf)>
- [19] Faulhaber převodovka. [online] Dostupné z www :  
<[http://www.faulhaber.com/uploadpk/EN\\_32A\\_DFF.pdf](http://www.faulhaber.com/uploadpk/EN_32A_DFF.pdf)>
- [20] Dunkermotoren motor. [online] Dostupné z www :  
<<http://www.dunkermotoren.com/default.asp?id=9&mid=6&lang=8>>
- [21] Dunkermotoren převodovka. [online] Dostupné z www :  
<<http://www.dunkermotoren.com/default.asp?id=13&gid=4&lang=8>>
- [22] Wenzhou Zhengke Electromotors motor s převodovkou. [online] Dostupné z www :  
< [http://www.motoridea.com/upload/editorfiles/2010.1.26\\_5.46.46\\_2252.pdf](http://www.motoridea.com/upload/editorfiles/2010.1.26_5.46.46_2252.pdf) >
- [23] Trelleborg gufera. [online] Dostupné z www :  
< [http://www.tss.trelleborg.com/com/www/en/products/rotary\\_seals\\_shaft\\_seals/Product-Detail\\_9\\_570.jsp](http://www.tss.trelleborg.com/com/www/en/products/rotary_seals_shaft_seals/Product-Detail_9_570.jsp) >
- [24] Lapp Group průchodka. [online] Dostupné z www :  
< [http://www.lappgroup.cz/10/cz/produkty/kabelove\\_vyvodky/index.html](http://www.lappgroup.cz/10/cz/produkty/kabelove_vyvodky/index.html) >
- [25] SKF ložiska a těsnící lamely . [online] Dostupné z www :  
< <http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=first&lang=cs> >

## Seznam příloh

### Přílohy v tištěné podobě:

[1]	Výkres sestavy pohonu	BC_TRA116_VSP_SV01
[2]	Výkres krytu pohonu	BC_TRA116_VKP_VV01
[3]	Výkres příruby motoru	BC_TRA116_VPM_VV02
[4]	Výkres víka gufera	BC_TRA116_VVG_VV03
[5]	Výkres víka kabeláže	BC_TRA116_VVK_VV04

### Přílohy v elektronické podobě (CD-ROM):

[6]	Bakalářská práce	BC_TRA116_BP-TEXT.pdf
[7]	Výkres sestavy pohonu	BC_TRA116_VSP_SV01.pdf
[8]	Výkres krytu pohonu	BC_TRA116_VKP_VV01.pdf
[9]	Výkres příruby motoru	BC_TRA116_VPM_VV02.pdf
[10]	Výkres víka gufera	BC_TRA116_VVG_VV03.pdf
[11]	Výkres víka kabeláže	BC_TRA116_VVK_VV04.pdf
[12]	Výkresová dokumentace (Autocad 2004)	BC_TRA116_DOKUM.dwg
[13]	3D-Model sestavy (Pro/E WF4.0)	BC_TRA116_3D_MODEL

## **Poděkování**

Za věcné rady a trpělivost při odborných konzultacích bych rád poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Zdeňku Konečnému Ph.D. Za veškerou podporu při studiu bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni Lucii.